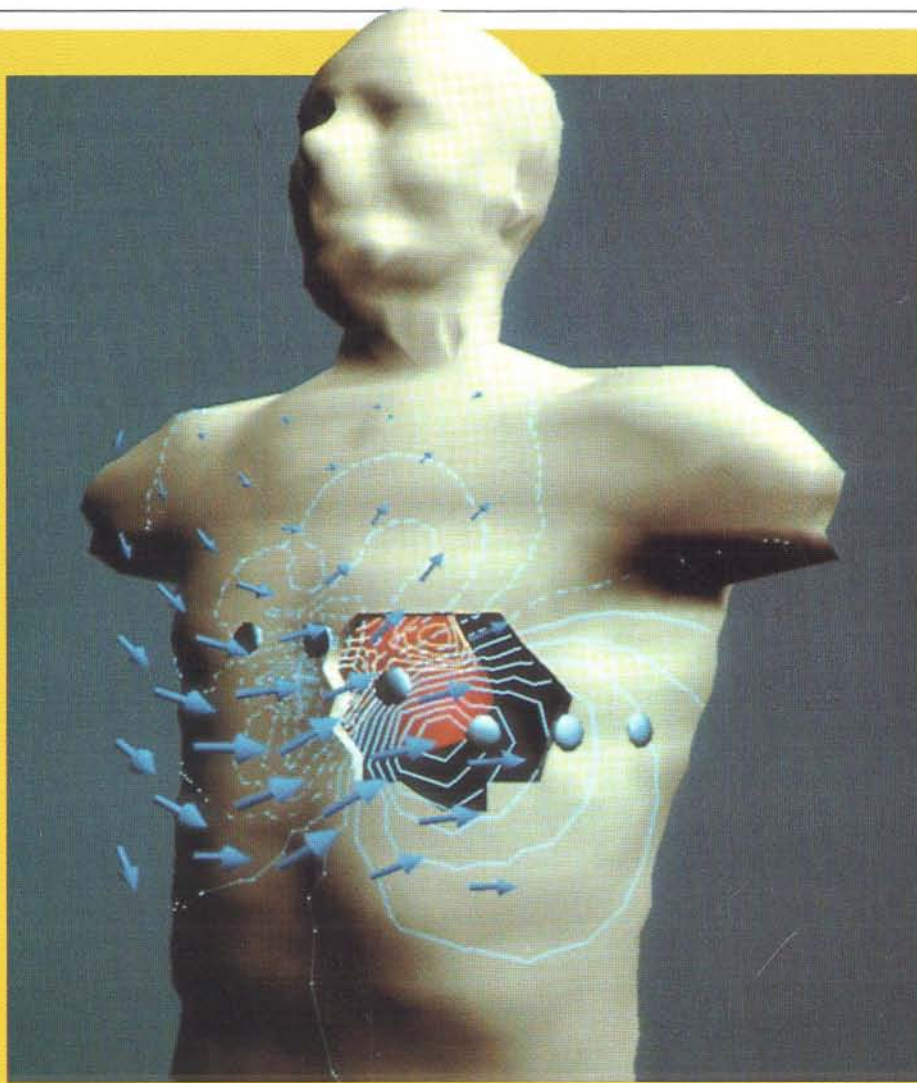


1 61^e jaargang

NATUUR '93 & TECHNIEK

natuurwetenschappelijk en technisch maandblad



PACEMAKERS

ALTERNATIEVE AUTOBRANDSTOFFEN/FOSSIELEN HERLEVEN/
TRANSISTOREN/ENTROPIE EN TIJD/AFWEER BIJ PLANTEN

OPEN DAG

Een lerarenopleiding exact: exact iets voor u?

De Hogeschool Midden Nederland verzorgt de volgende studierichtingen in voltijd en in deeltijd:

natuurkunde, scheikunde, biologie, natuur en milieu, wiskunde, techniek en gezondheidskunde.

Bent u geïnteresseerd in één van deze opleidingen en wilt u nader kennismaken met de vakgroep, dan bent u van harte welkom op onze voorlichtingsdag, zaterdag 30 januari 1993, 10.00-14.00 uur.

Bezoekadres: Archimedeslaan 16, 3584 BA Utrecht
Makkelijk bereikbaar met buslijn 11

Schriftelijke informatie kunt u aanvragen bij:
Hogeschool Midden Nederland, Faculteit Educatieve Opleidingen
Postbus 14007, 3508 SB Utrecht, bureau voorlichting: 030-547160

LERARENOPLEIDING

bynolyt



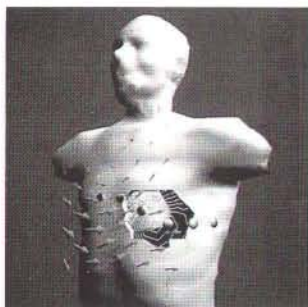
Beleef het Universum door een Bynostar astronomische telescoop. Zij bieden u een scherpe blik in de wereld van planeten en sterren. Het ideale verlengstuk van uw hobby. Bel voor een gratis brochure. Deze geeft uitstekende informatie om uw aanschaf te bepalen.

technolyt Industrieweg 35 1521NE Wormerveer Tel. 075-282204/285767 Fax 075-213663

NATUUR '93 & TECHNIEK

Losse nummers:
f 12,25 of 240 F.

natuurwetenschappelijk en technisch maandblad



Bij de omslag

Het hart bruist van de elektrische energie, die zich laat meten met elektroden op de huid. Het magnetisch veld dat bij elke hartslag het lichaam omhult, blijkt nu ook meetbaar. Als de elektrische activiteit van het hart hapert, kan een pacemaker uitkomst bieden. Hoe, dat leest u vanaf pag. 2 (Foto: Laboratorium voor Medische Fysica & Biofysica, KU Nijmegen)

Hoofredactie: Th.J.M. Martens, Dr G.M.N. Verschuuren.

Redactie: Drs G.F.M. Hendrickx, Drs T.J. Kortbeek, Drs E.J. Vermeulen.

Secretariaat: Drs L.P.J. Slangen.

Onderwijscontacten: W.H.P. Geerits, tel.: 0(0-31)4759-1305.

Redactiemedewerkers: Drs J. Bouma, Dr W.A. Casparie, Drs G.P.Th. Kloeg, A. de Kool, Prof dr H. Lauwerier, Drs J.C.J. Masschelein, Ir S. Rozendaal, Dr J. Willems.

Redactie-adviesraad: Prof dr W.J. van Doorenmaalen, Prof dr W. Fiers, Prof dr H. van der Laan, Prof dr ir A. Rörsch, Prof dr R.T. Van de Walle, Prof dr F. Van Noten. De Redactie-adviesraad adviseert in algemene zin maar draagt geen verantwoordelijkheid voor afzonderlijke artikelen.

Vormgeving: H. Beurskens, D. Gorissen, P. Maas.

Druk: Valkenburg Printers Echt (Ned.).

Voor nieuwe abonnementen: 0(0-31)43 254044
(tot 20.30 uur, ook in het weekend).

Abonnementsprijs (12 nummers per jaar, incl. porto): f 125,- of 2450 F.
Voor studenten: f 95,- of 1860 F.

Abonnement voor drie jaar: f 320,- of 6275 F.

Overige landen: f 35,- extra porto (zeepost) of f 45,- tot f 120,- (luchtpost).

Losse nummers: f 12,25 of 240 F (excl. verzendkosten).

Distributie voor de boekhandel: Betapress BV, Gilze (Ned.).

Abonnementen op NATUUR & TECHNIEK worden afgesloten tot het einde van het lopende abonnementsjaar. Zonder schriftelijke opzegging voor het einde van elk kalenderjaar, wordt een abonnement automatisch verlengd voor de volgende jaargang. TUSSENTIJDEN kunnen geen abonnementen worden geannuleerd.

Advertentie-exploitatie: Publiciteitsbureau Spoor & Partners BV (lid VOME), Postbus 200, 2060 AE Bloemendaal (Ned.).

Telefoon: 0(0-31)23-271114. *Fax:* 0(0-31)23-254045. *Telex:* 41529 spoor nl.

Redactie, vormgeving en administratie zijn te bereiken op:

Voor Nederland: Postbus 415, 6200 AK Maastricht.

Voor België: Boechtstraat 15, 1860-Meise/Brussel.

Bezoekadres: Stokstraat 24, 6211 GD Maastricht.

Telefoon: 0(0-31)43 254044 (op werkdagen tot 16.30 uur).

Telefax: 0(0-31)43 216124. *Telex:* 56642 natu nl

Postrekening: In Nederland: nr. 1062000 t.n.v. Natuur & Techniek, Maastricht.

In België: nr. 000-0157074-31 t.n.v. Natuur & Techniek, Brussel.

Bankrelatie: In Nederland: ABN-AMRO-Bank NV, Heerlen, nr. 44.82.00.015.

In België: Kredietbank Brussel, nr. 423-907 0381-49.

Artikelen met nevenstaand vignet resulteren uit het EURO-project, waarin NATUUR & TECHNIEK samenwerkt met ENDEAVOUR (GB), LA RECHERCHE (F), BILD DER WISSENSCHAFT (D), SCIENZA E TECNICA (I), PERISCOPIO TIS EPISTIMIS (GR) en MUNDO CIENTIFICO (E).

Gehele of gedeeltelijke overname van artikelen en illustraties in deze uitgave (ook voor publicatie in het buitenland) mag uitsluitend geschieden met schriftelijke toestemming van de uitgever.

EURO
ARTIKEL

NOTU

Een uitgave van

ISSN 0028-1093



Centrale Uitgeverij en Adviesbureau b.v.

INHOUD

SIMULATICA/Een pacemaker	IV
AUTEURS	VIII
HOOFDARTIKEL/J.H. Oort	1

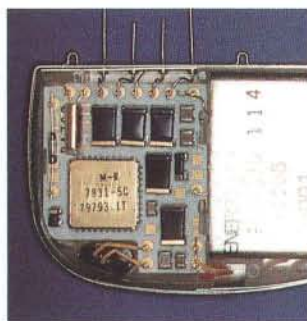
RIKKETIKRITME

2

Pacemaker pulst naar behoefte

A. Maarse en J.H. Ruiter

Het menselijke hart kan te langzaam gaan kloppen. De bloedsomloop raakt dan onregelmatig en de patiënt kan niet goed functioneren. Sinds de ontwikkeling in 1958 van de implanteerbare kunstmatige hartstimulator, de pacemaker, zijn wereldwijd al ongeveer vijf miljoen mensen geholpen. Een pacemaker herstelt een te langzaam hartritme. Hij verstrekkt, in een regelbaar tempo, elektrische prikkels aan de hartspeer, die daardoor samentrekt. De moderne pacemaker kan het hartritme zelfs aanpassen aan de energiebehoefte van het lichaam.



ALTERNATIEVE BRANDSTOFFEN

12

Een welkom groen tintje

P.A. Okken

De benzine-auto heeft z'n langste tijd gehad. Weliswaar zijn de olievoorraden voorlopig nog niet uitgeput, maar een ander dreigend wereldprobleem, het broeikaseffect, noopt ons uit te kijken naar alternatieve brandstoffen wanneer het terugdringen van het autoverkeer niet lukt. Welke zijn deze alternatieven, wat is hun bijdrage aan het broeikaseffect, hoe is de stand der techniek, wat gaat het kosten en welke gevestigde belangen moeten ervoor wijken? Kortom, wat kunnen we in de toekomst verwachten? In dit artikel komen de voor- en nadelen op een rijtje.



BEELDEN UIT HET VERLEDEN

26

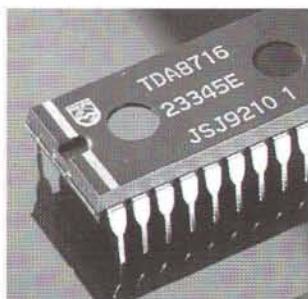
Lars van den Hoek Ostende en John de Vos

Twintig jaar geleden beschreef een onderzoeker hoe hij aan de hand van de voetafdruk van een dinosauriër het dieet van dit beest kon nagaan. Is dit het toppunt van wetenschappelijk kunnen, of zegt het meer over de overmatige verbeelding van deze wetenschapper? Voor het reconstrueren van prehistorische dieren zijn we in de eerste plaats aangewezen op de resten die ervan bewaard zijn gebleven. Daarna kan kennis over de huidige dierenwereld ons een flink stuk verder helpen, maar uiteindelijk blijft een gezonde dosis fantasie noodzakelijk om oermensen en dinosauriërs te laten herleven.



NATUUR '93 & TECHNIEK

januari/61^e jaargang 1993



KIJK OP WETENSCHAP

Transistoren

38

Jim Lesurf

De quantummechanica is niet alleen belangrijk voor de wereld van deeltjesversnellers en kernfysica. Quantummechanica is universeel en geeft ook een beschrijving van de eigenschappen van stoffen. We benutten die eigenschappen en bouwen transistoren die miljoenen apparaten, van computers tot horloges, besturen.



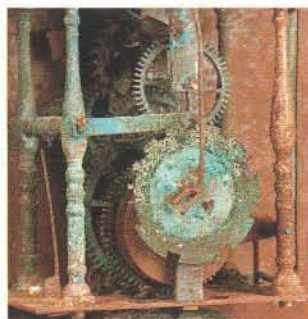
MOLEKULAIRE GEWASBESCHERMING

46

Schimmelen bewaakt tomaat

P.J.G.M. de Wit

Planten in de vrije natuur en gewassen in veld en kas staan voortdurend bloot aan schimmels, bacteriën en virussen die ziekten veroorzaken. Ziekten en plagen kunnen jaarlijks tot wel dertig procent aan oogstverliezen veroorzaken. Planten verdedigen zich tegen ziekteverwekkers door op de plaats waar deze binnendringen een aantal cellen zeer snel te laten afsterven. Daarmee gaat ook de ziekteverwekker te gronde. Gewapend met deze kennis kunnen biotechnologen het afweersysteem van cultuurgewassen verbeteren.



ENTROPIE EN TIJD

58

Herinnering in de koelkast

Willem Norde

Natuurlijke processen gaan gepaard met een toename van de entropie van het heelal. Entropie is niets anders dan het quotiënt van toegevoegde warmte en temperatuur. Het geeft een verandering in wanorde aan. Het entropieprincipe bepaalt ook de richting waarin gebeurtenissen verlopen in de wereld die ons omringt. Ook bij het vastleggen van onze herinneringen, een proces dat een ordening binnenin onze hersenen vereist, speelt het lastige entropiebegrip een rol en bepaalt het de manier waarop we het verstrijken van de tijd ervaren.

ANALYSE & KATALYSE/Fairplay en de teelbal/
Profeet en prediker

70

ACTUEEL

80

PRIJSVRAAG

88

SIMULATICA

Prof dr
H.A. Lauwerier

Een pacemaker

In november van het vorige jaar hebben we aan de hand van een simulatie laten zien hoe de hartklok reageert op een enkele stimulus. We kunnen het gebruikte model nog enigszins uitbreiden en daarmee een pacemaker simuleren. Het komt er eenvoudigweg op neer dat we de stimulus niet eenmaal maar regelmatig toedienen. De toestand van het hart geven we weer als een punt P dat rondgaat over een eenheidscirkel.

Als f de fase van dat punt is (dat wil zeggen dat de poolcoördinaten van P gelijk zijn aan 1 en $2\pi f$), dan ondergaat het punt P ten gevolge van een externe stimulus een verandering. De fase is in principe een getal tussen 0 en 1, maar soms is het handig tijdens een berekening om de fasewaarden voorbij 1 door te laten lopen.

In ons streven het model zo eenvoudig mogelijk te houden, nemen we aan dat P na de stimulatie vrijwel direct een nieuwe positie op de eenheidscirkel gaat innemen. Dat betekent dat de fase f van P sprongsgewijs verandert van f naar $f+F(f,a)$. De faseverandering F is een nader te beschrijven functie, die afhangt van f en van de grootte a van de stimulus. We laten de hartklok nu een bepaalde

tijd c lopen en daarna geven we weer een stimulus. De cyclus herhaalt zich verder op periodieke wijze. Steeds krijgt de hartklok na een vaste periode c , de periode van de pacemaker, een nieuwe stimulus toegediend. We verrichten telkens een meting door vlak voor het toedienen van een nieuwe stimulus de fase f te noteren. We krijgen aldus een rij $f_0, f_1, f_2 \dots$ van fasewaarden, die met elkaar in verband staan volgens een formule met de vorm:

$$f_{n+1} = f_n + c + F(f_n, a).$$

In deze formule doorloopt n vanaf 0 de rij van de natuurlijke getallen. De functie F , zelf een fasegetal, hangt in dit model af van de waarden van fase en stimulus. Het begrip fase brengt met zich mee dat F ten opzichte van f_n een periodieke functie is met de periode 1. Een eenvoudige geschikte functie F is iets als $\sin(2\pi f)$. Zo komen we tot het volgende model, dat bekendstaat als de *circle map*:

$$f_{n+1} = f_n + c - a \sin(2\pi f_n) / (2\pi) \text{ mod } 1.$$

We kunnen constateren dat in het rechterlid de intensiteit a van de stimulus opgenomen is als een factor van de sinusfunctie. De extra factor (2π) in het rechterlid is alleen maar een kwestie van schaling. De toevoeging mod 1 kan nodig zijn om van het rechterlid een getal tussen 0 en 1 te maken.

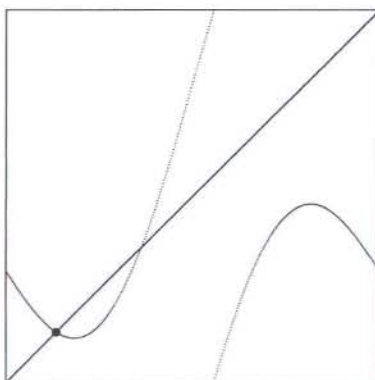
In het verkregen model kan men alles verwachten tussen orde en chaos in. De hoogste graad van orde is de aanwezigheid van een stabiel evenwicht, een *aantrekkend dekpunt*. Dat betekent dat er een beginfase f_0 , de evenwichtsfase, is waarvoor f_1 gelijk is aan f_0 . Dit brengt met zich mede dat alle elementen van de rij f_n ook gelijk zijn aan f_0 . Meer nog, stabiliteit wil zeggen dat een kleine verandering van fasewaarden uiteindelijk

```
REM ***x'x diagram voor vaste a en c***
REM ***Naam:PACEM1***
SCREEN 12 : CLS : PI=4*ATN(1)
WINDOW (-.5,-.3)-(1.5,1.2)
A=1 : B=A/(2*PI) : C=.31 'data
LINE (0,0)-(1,1),,B : LINE (0,0)-(1,1)
FOR K=0 TO 200
  X=K/200 : Y=C+X-B*SIN(2*PI*X) : Y=Y-INT(Y)
  PSET (X,Y)
NEXT K
REM ***Hoofdloop***
X=.2 : 'start
FOR N=1 TO 100
  Y=C+X-B*SIN(2*PI*X) : Y=Y-INT(Y)
  IF N>50 THEN LINE (X,X)-(X,Y) : LINE -(Y,Y)
  X=Y
NEXT N : A$=INPUT$(1)
END
```

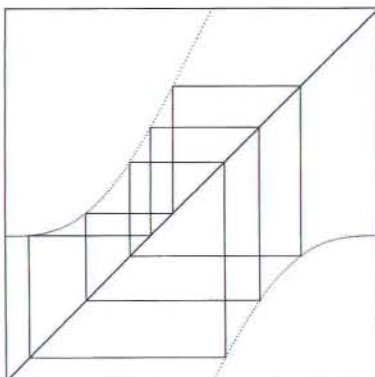
geen invloed heeft, de rij f_0 convergeert steeds tot de evenwichtswaarde f_0 . Dat is dus een model van een goed geregelde pacemaker. Deze situatie vereist dat aan de volgende ongelijkheid moet zijn voldaan:

$$2\pi c < a < 2\sqrt{1 + \pi^2 c^2}$$

Omdat in een stabiel evenwicht de fase bij een iteratiestap niet verandert, spreken we van fasekoppeling, preciezer fasekoppeling 1:1. Bij elke 'tik' van de pacemaker geeft het hart ook een 'tik'. Deze stabiele situatie is geschetst in nevenstaande afbeelding. De dikke stip links onder geeft de positie van het evenwicht weer. Het wiskundige model laat echter veel meer mogelijkheden toe, waarvan sommige hun tegenhanger kunnen vinden in de hartfysiologie als hartritmeverstoren. Een bekend fenomeen is bijvoorbeeld het zogenaamde verschijnsel van Wenckebach, waarbij in vier iteratiestappen de fase achterblijft en zich pas na drie slagen herstelt, een fasekoppeling 3:4 dus. Bij het wiskundige model openbaren dergelijke storingen zich als periodieke cycli. Is bijvoorbeeld f_1, f_2, f_3 en f_4 een stabiele 4-cyclus en is, nu met doortellen van de fase voorbij 1, $f_4 = f_1 + 3$, dan staat dit patroon model voor het Wenckebach-verschijnsel. In de tweede afbeelding hebben we

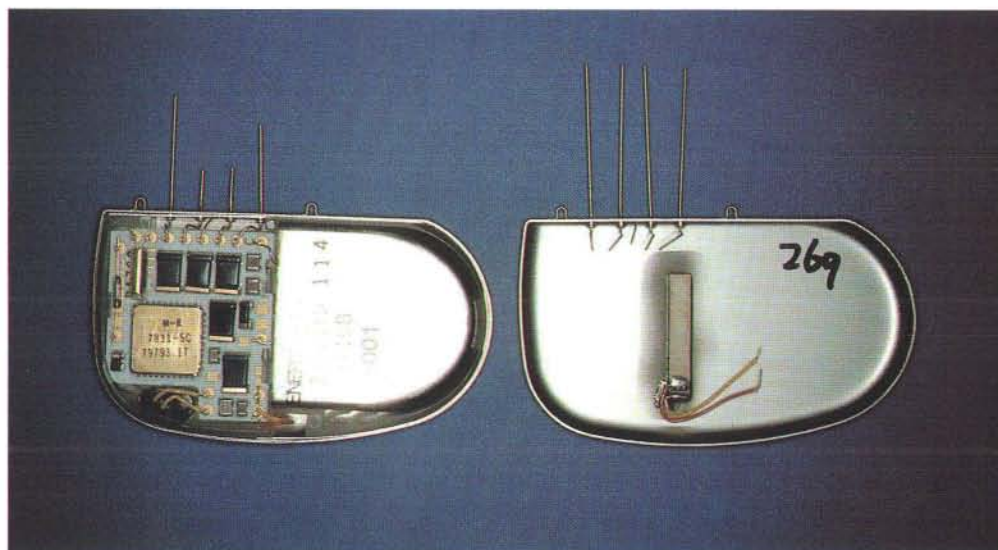


Als a gelijk is aan 2,5 en c gelijk is aan 0,3, ontstaat er een stabiel evenwicht.



Een weergave van de fasekoppeling die optreedt in het pacemakermodel voor een vaste stimulus.

Dankzij chips en sensoren passen moderne pacemakers hun ritme aan. (Foto: Medtronic, Maastricht)

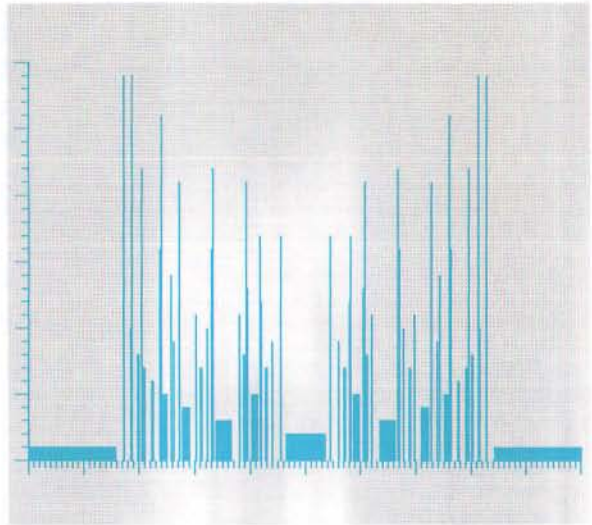


een meer wiskundig fenomeen grafisch afgebeeld aan de hand van het programma PACEM1. De bijbehorende waarden zijn $a=1$ en $c=0,39$.

Daarbij is er een fasekoppeling 3:8, wat betekent dat er een stabiele periodieke 8-cyclus is waarbij de fase, met doortelling, met drie eenheden toeneemt. Het gegeven programma kan men voor alle waarden van a en van c gebruiken door zelf andere waarden in te toetsen. De eerste afbeelding is met hetzelfde programma gemaakt met de waarden $a=2,5$ en $c=0,3$.

We kunnen het programma verder uitbouwen, zodat we voor een vaste waarde van a het model kunnen onderzoeken voor alle waarden van c tussen 0 en 1. We krijgen dan een diagram van de fasekoppeling. Voor bepaalde waarden van c bestaat er geen stabiele periodieke cyclus of is de periode van een eventuele stabiele cyclus te hoog. We kunnen dan van chaos spreken, een situatie die we met het fibrilleren van het hart kunnen vergelijken.

Het programma PACEM1 toont de fasekoppeling 3:8 die optreedt bij waarden van $a=1$ en $c=0,39$.



```

REM ***De periode als functie van c, a vast***
REM ***Naam: PACEM2***
DEFDBL A-Z
SCREEN 12 : CLS : PI=4*ATN(1)
WINDOW (0,-10)-(639,40)
LINE (120,0)-(120,30) : LINE (120,0)-(520,0)
FOR K=0 TO 6
  LINE (110,5*K)-(120,5*K) : NEXT K
FOR K=0 TO 30
  LINE (115,K)-(120,K) : NEXT K
FOR K=0 TO 10
  LINE (120+40*K,0)-(120+40*K,-1) : NEXT K
FOR K=0 TO 100
  LINE (120+4*K,0)-(120+4*K,-.5) : NEXT K
A=1 : B=A/(2*PI) 'vaste waarde van a
DEF FNA(X)=X-B*SIN(2*PI*X)
FOR M=0 TO 400 : C=M/400
  IF INKEY$<>"" THEN END
  X=.2 'start
  FOR N=1 TO 1000
    X=C+FNA(X)
  NEXT N
  XO=X-INT(X) : X=XO
  FOR K=1 TO 99
    Y=C+FNA(X) : Y1=Y-INT(Y)
    IF ABS(Y1-XO)<.0001 THEN
      Q=K : P=INT(Y) : EXIT FOR
    ELSE
      Q=99
    END IF
    X=Y
  NEXT K
  IF Q<31 THEN LINE (120+M,0)-(120+M,Q)
NEXT M : AS=INPUT$(1)
END
  
```

De mogelijkheden van dit model kunnen we op meer systematische wijze onderzoeken, door bij een vaste, vooraf gegeven waarde van a alle in aanmerking komende waarden van c na te gaan en bij elke waarde te letten op het bestaan van een eventuele periodieke cyclus van niet te grote lengte. Dat is gebeurd in het programma PACEM2 en het resultaat is bovenstaande afbeelding waarin c van 0 tot 1 loopt. Het diagram is kennelijk symmetrisch, zodat eigenlijk alleen het interval tussen 0 en $1/2$ van belang is. In het c -gebied zijn er duidelijk zichtbare 'vensters' waarvoor er een stabiele 2-, 3-, 4-cyclus bestaat. Naarmate de periode toeneemt worden de vensters smaller om ten slotte 'in chaos te verdwijnen'.

Literatuur

- H.A.Lauwerier. Computersimulaties. Bloemen-
daal: Gottmer-Aramith, 1992.
L.Glass and M.C.Mackey. From clocks to chaos.
Oxford: Princeton University Press, 1988.

Wolkenbreuken voorspellen

Een beetje regen op z'n tijd vinden we zeer prettig. Maar als de hoeveelheid regen de spuitgaten uitloopt, kan die overstromingen en verwoestingen veroorzaken. Afgezien van de enorme materiële schade die dit met zich kan meebrengen, kan dit ook levens kosten. Het Britse Meteorological Office, een wereldwijd bekende dienst, heeft een computersysteem ontworpen dat enige uren van tevoren wolkenbreuken kan voorspellen. Dat biedt de mogelijkheid om tijdig voorzorgsmaatregelen te nemen. Het Meteorological Office begon in 1854 met het verstrekken van informatie over weer en zeestromen aan de zeevarende bevolking. Zeven jaar later breidde het

zijn dienstenpakket uit met de levering van informatie aan de pers en stormwaarschuwingen aan havenmeesters. In 1911 volgde de introductie van draadloze telegrafie voor het vergaren van weer rapporten van schepen op zee. In 1983 werd het 'Met office' tevens het *World Area Forecast Centre for Civil Aviation*. Het ontwikkelde computersysteem is een nieuw hoogtepunt in de geschiedenis van dit Britse instituut.

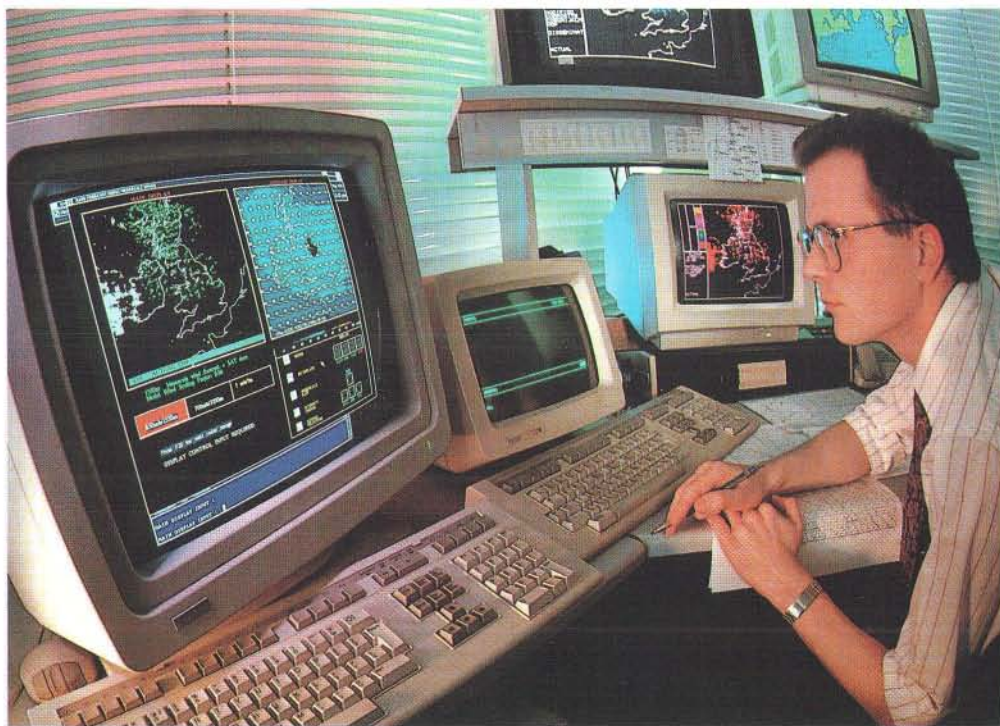
Het nieuwe systeem, dat bekendstaat als FRONTIERS, voorspelt de hoeveelheid regen die ergens valt. Het kan zes uur van te voren aangeven wat de bewegingsrichting en de intensiteit van regenbuien is. De computerinstallatie

gebruikt gegevens die afkomstig zijn uit diverse bronnen, waaronder het Britse radarnetwerk dat de regenval meet. Het voorspelt de waarschijnlijke ophoping van regenwater in bepaalde gebieden en rivieren. Deze informatie wordt doorgegeven aan plaatselijke organisaties die zich dan kunnen voorbereiden op omstandigheden die tot overstroming kunnen leiden. Het systeem zal een belangrijke aanvulling op het huidige weervoorspellingsstelsel betekenen.

FRONTIERS is ontwikkeld in het kader van het huidige *International Decade for National Disaster Reduction* dat is uitgeroepen door de Verenigde Naties.

Persbericht Britse ambassade

Een meteoroloog bestudeert een voorspelling van het FRONTIERS-systeem. (Foto: London Pictures Service)



Het **nieuwste** boek uit de
Wetenschappelijke Bibliotheek

DE DNA-MAKERS

DE DNA-MAKERS

Architecten van het leven



Architecten van het leven

Huub Schellekens e.a.

Momenteel kennen we allerlei technieken om DNA in kaart te brengen, te vermeerderen en zelfs te veranderen. Daarmee worden nieuwe wegen geopend om ziekten te herstellen of te voorkomen. De ethische discussie over wat mogelijk en wat wenselijk is, wordt heviger dan ooit.

In dit boek komen vele, internationaal erkende experts aan het woord. Zij schrijven over hun eigen bijdrage aan deze DNA-speurtocht. Eigenlijk zijn zij de 'makers' van het DNA zoals we het nu kennen en zoals het misschien zal worden.

Dit is deel 30 uit de Wetenschappelijke Bibliotheek van Natuur & Techniek: 256 pagina's met talrijke afbeeldingen in zwart/wit en vierkleurendruk.
ISBN 90 73 035 20 1

Prijs: f 74,50 of 1460 F.

Voor abonnees van Natuur & Techniek:
f 59,50 of 1165 F.

Voor leden van de Wetenschappelijke Bibliotheek:
f 49,75 of 975 F.

Informatie en bestellingen tot 16.30 uur:
0(0-31)43.254044

AUTEURS

Drs A. Maarse ('Pacemakers') werd op 19 november 1966 in Aalsmeer geboren. Hij studeerde van 1985 tot 1991 natuurkunde aan de Vrije Universiteit te Amsterdam. In het kader van de vervangende dienstplicht is Maarse momenteel werkzaam als pacemakertechnicus in het Medisch Centrum Alkmaar.

Dr J.H. Ruiter ('Pacemakers') studeerde geneeskunde aan de RU Leiden, waarna hij zich specialiseerde tot cardioloog. Na zijn opleiding werkte Ruiter in twee Rotterdamse ziekenhuizen. Momenteel is hij verbonden aan Medisch Centrum Alkmaar. Ruiter, geboren in 1948 in Groningen, promoveerde op 24 januari 1992 aan de Erasmus Universiteit te Rotterdam.

Drs P.A. Okken ('Brandstoffen') is geboren in Amsterdam, op 16 mei 1953. Hij studeerde van 1970 tot 1979 chemie in Groningen. Tot 1985 was Okken verbonden aan de Rijksuniversiteit Groningen. Momenteel is hij in dienst van ECN te Petten, waar hij de mogelijkheden voor het terugdringen van CO₂-emissies in de energiehuishouding onderzoekt.

Drs L.W. van den Hoek Ostende ('Fossielen') studeerde biologie in Utrecht. Daarna was hij in dienst van het Teylers Museum en van het Rijksmuseum Geologie en Mineralogie. Momenteel is hij registrator van het Nationaal Natuurhistorisch Museum te Leiden en free-lance publicist/journalist. Van den Hoek Ostende werd op 13 augustus 1963 in Bergen op Zoom geboren.

Dr J. de Vos ('Fossielen') werd op 15 december 1947 geboren te Hilversum. Hij studeerde van 1966 tot 1973 biologie in Utrecht en promoveerde er in 1983. Van 1976 tot 1979 was De Vos leraar biologie. Tot op heden is hij als conservator in dienst van zowel het Nationaal Natuurhistorisch Museum te Leiden als het Teylers Museum te Haarlem.

Dr ir P.J.G.M. de Wit ('Resistentie') werd op 27 februari 1949 in Grathem geboren. Hij studeerde in Wageningen, waar hij in 1981 promoveerde. De Wit is sinds 1974 in dienst van de Landbouwniversiteit, momenteel als hoogleraar van de vakgroep Fytopathologie. Hij was gastmedewerker van de universiteit in Tromsø, Noorwegen, en van de universiteit van Kentucky, VS.

Dr ir W. Norde ('Tijd en entropie') is geboren in Vorden, op 16 november 1944. Na zijn studie en promotie in 1976 aan de Landbouwniversiteit Wageningen is hij verbonden gebleven aan de LU, sinds 1979 als universitair hoofddocent. Norde ontving verschillende wetenschappelijke prijzen, waaronder de Unilever Chemie Prijs in 1968, nog tijdens zijn studie.



J.H. Oort

De produktietijd van een (goed) geïllustreerd blad maakt het in het algemeen onmogelijk in te haken op actuele gebeurtenissen, zoals het overlijden van een belangrijk onderzoeker. Men moet er dan al wel heel zeker van zijn, dat het verscheiden van zo iemand zoveel indruk heeft gemaakt, dat er ook buiten zijn of haar directe omgeving na maanden nog over wordt gedacht. Zo iemand was prof dr J.H. Oort, een van de mensen over wie ook bij leven niets dan goeds kon worden gezegd.

Oort was zo oud als deze eeuw, maar verworvenheden als vervroegde uittreding waren hem vreemd. Tot ver in de jaren tachtig had hij nog een eigen kamer aan het Princeton Institute of Advanced Studies, niet ver van New York – een kamer die veel en intensief werd gebruikt. Zijn kamer op de Leidse sterrewacht is nog een aantal jaren langer drukbezet geweest. Er zijn waarschijnlijk geen Nederlanders met evenveel eredictoraten als Oort. Hij heeft een groot aantal belangrijke internationale prijzen gekregen.

Lang niet alle belangrijke onderzoekers zijn ook bescheiden. Oort was dat wel, maar daarop kon je je lelijk verkijken. Hij sprak altijd en overal zeer zacht, maar helder en duidelijk. (In later jaren, toen zijn gehoororgaan problemen gaf, kon dat wel eens moeilijk zijn voor zijn omgeving: het geeft een raar gevoel luid te praten tegen iemand die zelf zo zacht spreekt.) Maar zijn zachte stem, waar vaak net een klein beetje ironie in te bespeuren viel, kon zijn sterke persoonlijkheid maar kort verhullen. Wanneer er moest worden onderhandeld ten behoeve van het vak – en dat moest er, een radiotelescoop als die bij Westerbork betekende dat er moest worden afgewogen tegen andere belangen – dan kreeg hij voor elkaar wat hij wilde. Hij was volhardend, maar allerm minst koppig. De telescoop van Westerbork lijkt qua uiterlijk nauwelijks op het oorspronkelijke ontwerp. Het plan was destijds zo uniek, dat de hele sterrenkundige wereld er zich mee bemoeide. Oort luisterde en nam elk goed advies ter harte.

Oort was wel het tegendeel van een vakidoot. Zoals heel veel echt grote onderzoekers had hij een zeer brede belangstelling. In zijn jeugd was hij een bekend roeier. Toen hij al hoogleraar was, maakte hij zulke voortreffelijke poëzievertalingen, dat hij er de Zilveren Ganzeveer voor kreeg. Als popularisator was hij onovertroffen; zijn bijdragen aan dit blad bijvoorbeeld, zijn kleine meesterwerkjes van helderheid zonder concessies.

Wij vinden het een eer dat hij van 1972 tot 1987 aan dit blad verbonden is geweest. Eigenlijk zou iedereen dankbaar moeten zijn dat er zo nu en dan mensen als Oort bestaan.

A. Maarse en J.H. Ruiter *Medisch Centrum Alkmaar*

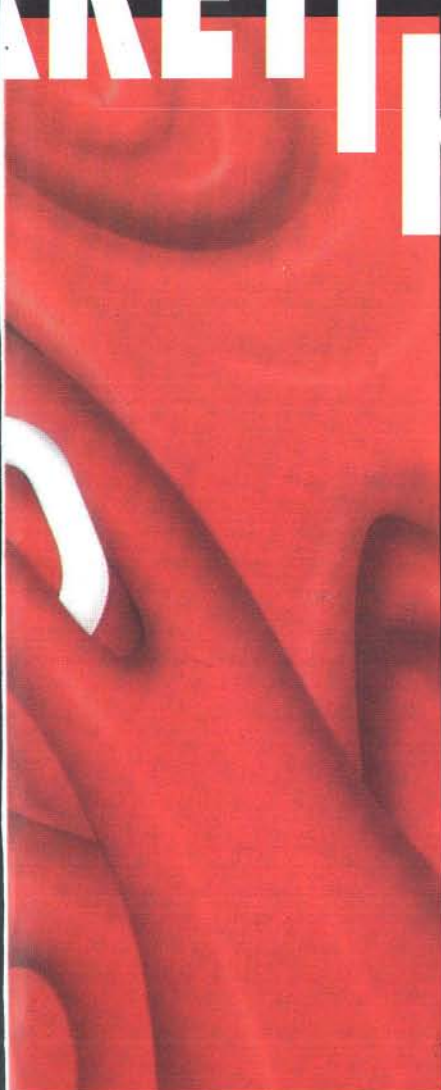
RIK



Pacemaker pulst naar behoefte

De elektrode van een pacemaker komt via de holle ader in het hart. Het uiteinde van de elektrode geeft pulsjes af aan de hartspier. Sommige elektroden hebben weerhaken. Hier is het uiteinde een schroef, die gemakkelijk tussen de spiervezels vast blijft zitten.

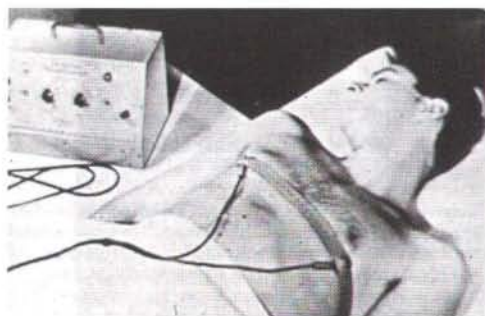
KKETT I K R I T M E



Het menselijke hart kan door allerlei oorzaken te langzaam gaan kloppen. De bloedsomloop raakt dan ontregeld en de patiënt kan niet goed functioneren. Er is gelukkig een uitstekende oplossing voorhanden, in de vorm van de implanteerbare kunstmatige hartstimulator, ofwel de pacemaker. Sinds de ontwikkeling ervan, in 1958, zijn er wereldwijd al ongeveer vijf miljoen mensen mee geholpen. Een pacemaker herstelt een te langzaam hartritme. Hij verstrekt, in een regelbaar tempo, elektrische prikkels aan de hartspier, die daardoor samentrekt. De moderne pacemaker kan het hartritme zelfs aanpassen aan de energiebehoefte van het lichaam.

Het hart is eigenlijk een grote, holle spier. Regelmatig trekt hij samen en perst hij het bloed de slagaders in. Zo houdt het hart de bloedsomloop op gang. De samentrekking van het hart wordt veroorzaakt door de *sinusknoop*. Dat is een stukje spierweefsel in de boezem, dat met een grote regelmaat elektrische impulsen afgeeft. Zo'n impuls start een samentrekking van de boezems (*atria*, enkelvoud *atrium*) die dan de kamers of *ventrikels* goed met bloed vullen. De impuls plant zich langs de boezemwand voort en bereikt tenslotte de *atrioventriculaire knoop* (AV-knoop), een stukje zenuw tussen de bovenste en de onderste harthelft. Het duurt even voordat de AV-knoop de impuls verder doorgeeft. Hij vertraagt de impuls naar de kamers zodanig, dat de boezems de tijd krijgen om hun inhoud volledig in de kamers te persen. De AV-knoop geeft de impuls door naar de kamers via de *bundel van His*. Deze zenuwbundel splitst zich in een linker- en een rechters tak en eindigt uiteindelijk in de Purkinje-vezels. Die vezels zorgen er voor dat de stimulatie zich snel over de linker- en rechterkamerwand verspreidt.

De sinusknoop staat onder invloed van het onwillekeurige (autonome) zenuwstelsel, de hormoonspiegels van het bloed en andere fysiologische factoren. Het sinusritme reageert dus op zowel lichamelijke als geestelijke inspanningen. Het volgt daarbij heel precies de energiebehoefte van het lichaam, met een bereik van ongeveer zestig slagen per minuut bij rust tot honderdtachtig slagen per minuut bij zware lichamelijke inspanning.



1

1. In 1958 paste men voor het eerst een pacemaker toe. Het grote apparaat,

een externe pacemaker, staat hier naast het bed van een patiënt.

2. Bij de pacemakerproductie wordt zeer precies gewerkt. Voorzichtig worden de kleine onderdelen in het titanen omhulsel geplaatst.

3. Bijna een jaar na de ingebruikname van de eerste externe pacemaker, kon de arts Senning een pacemaker op het hart van een patiënt aanbrengen, de eerste implanterbare pacemaker.



2

Verstoord hartritme

De regeling van het hartritme is een vrij kwetsbaar mechanisme. Als de sinusknoop geen impulsen ontwikkelt of ze niet doorgeeft aan de boezems, spreekt men van het *sick sinus syndrome*. Ook kan de geleiding van de boezems naar de kamers zijn vertraagd of onderbroken. Daarbij spreekt men van een AV-block. De oorzaak kan zijn dat de AV-knoop de impulsen te traag of helemaal niet geleidt of dat de bundeltakken niet goed werken. Het resultaat is dat de boezemslagen te traag door de kamer worden gevolgd of dat er kamerslagen uitvallen. Worden er helemaal geen impulsen meer doorgegeven, dan spreekt men van een totaal AV-block.

Nu is het niet zo dat het hart meteen stilstaat als een van deze stoornissen optreedt. Spiercellen die spontaan impulsen kunnen afgeven, bevinden zich namelijk niet alleen in de sinusknoop maar ook in de boezems, de AV-knoop en in de kamers. Als de normale impulsgeleiding is verstoord, neemt een van deze cellen de rol van gangmaker over en ontstaat er een zoge-



hart door elektrische stroomstootjes kan worden gestimuleerd. In de jaren die daarop volgden, experimenteerden onderzoekers met elektroden op de huid, met naalden die door de borst direct in de hartspier werden gestoken, met elektroden die operatief aan de buitenkant van het hart werden geplaatst en uiteindelijk met elektroden die door een ader in de rechterkamer werden gebracht.

Pas in 1958, nadat bij een operatie een tijdelijk totaal AV-block optrad, werd voor het



3

naamd ontsnappingsritme. Het boezemritme, het ontsnappingsritme van de boezems, ligt op zo'n veertig tot vijftig slagen per minuut. Als ook deze prikkels de kamers niet bereiken, ontwikkelen de kamers zelf een ontsnappingsritme van twintig tot veertig slagen per minuut. Zo'n hartritme is genoeg om te overleven, maar het lichaam krijgt dan onvoldoende energie om normaal te functioneren. Bovendien is het kamer-ontsnappingsritme erg onbetrouwbaar: voor de komst van de elektrische gangmaker, de pacemaker, overleden de meeste patiënten met een totaal AV-block binnen twee jaar aan de gevolgen van hartfalen.

Klassieke hartstimulatie

Gelukkig is het hart niet alleen gevoelig voor impulsen van de sinusknoop, maar ook voor kunstmatige elektrische prikkels. Dit geeft de mogelijkheid om een hart met een defecte impulsvorming of -geleiding toch een normaal ritme te geven met kunstmatige hartstimulatie, ofwel *pacing*. Al aan het einde van de vorige eeuw werd experimenteel aangetoond dat het

eerst een mens een aantal dagen met kunstmatige hartstimulatie in leven gehouden. De draad liep natuurlijk wel tot in het hart, maar de pacemaker bevond zich nog buiten het lichaam. Dat was wel nodig ook, want het apparaat had het formaat van een hedendaags televisietoestel. De eerste implantatie van een pacemaker die daar klein genoeg voor was, vond ook in 1958 plaats.

De eerste jaren gaven de pacemakers hun prikkels zonder meer af, ook als het hart al spontaan klopte. Dit resulteerde dan in een onregelmatige hartslag. De kamers kregen niet alleen een stimulans van de pacemaker, maar ook vanuit de AV-knoop. Het kunstmatige en het natuurlijke ritme gingen door elkaar lopen.

Een grote stap vooruit was de ontwikkeling, in 1963, van een pacemaker die de elektrische activiteit van de kamers kon registreren en bij het optreden daarvan geen prikkels afgaf. Men noemde dit de *ventrikel-geïnhibeerde ventriculaire pacemaker* (VVI-pacemaker), ook wel demand-pacemaker genoemd. Een VVI-pacemaker komt pas in actie als het eigen ritme te langzaam wordt. Hoewel de gebruikte techno-

logie totaal is veranderd, wordt dit systeem op zich nog steeds veel toegepast.

Een variant hierop is het AAI-systeem (*atrium-geïnhibeerde atriale pacemaker*), waarbij de draad in de boezem ligt. Dit systeem wordt toegepast bij het sick sinus syndrome (zie Tabel). Het voordeel van dit systeem is dat de boezems en de kamers weer synchroon werken. Als dat niet zo is, kan het voorkomen dat de boezems proberen samen te trekken op een moment dat de kamers dat ook al doen en de kleppen tussen de boezems en de kamers dus gesloten zijn. De pompwerking van het hart is dan niet optimaal en de boezemsamentrekking kan men voelen als een gemene klop in de halsaders. Dit verschijnsel, dat bij VVI-pacing soms en bij AAI-pacing dus niet optreedt, wordt het 'pacemaker-syndroom' genoemd.

Energiebehoefte

Een VVI- of AAI-systeem ondervangt weliswaar het gevaar van een hartstilstand of de nadelen van een al te traag ritme, maar het heeft toch een belangrijk nadeel, namelijk het

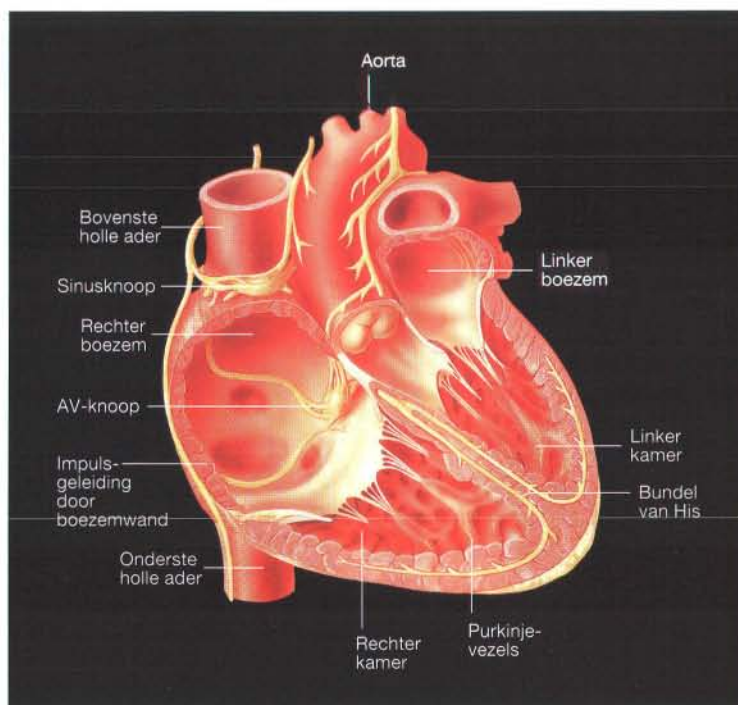
4. Het inbrengen van een pacemaker is tegenwoordig een vrij kleine ingreep. Het apparaatje weegt zo weinig, dat de patiënt er nauwelijks last van heeft.

5. Pacemakers onderscheiden zich in eerste instantie in de plaatsing van de elektroden. Bij enkel-kamer-pacemakers geeft de elektrode een impuls

aan de kamer (VVI-pacemaker) of aan de boezem (AAI). Bij tweekamer-pacemakers liggen de elektroden zowel in de boezem als in de kamer.



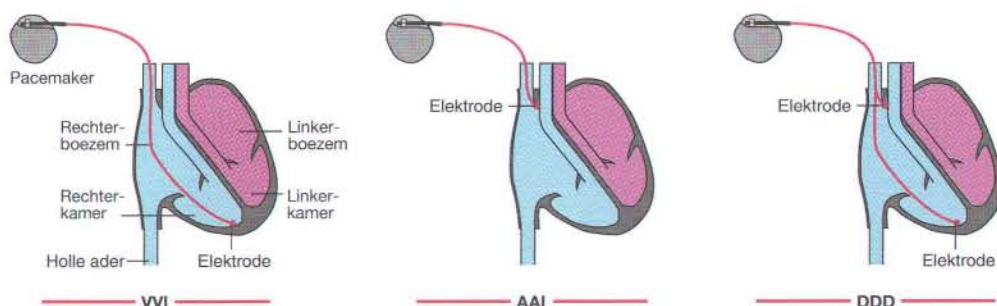
4



6. In een goed werkend hart verstuurt de sinusknoop een impuls langs de boezemwand. Als dit signaal de AV-knoop heeft bereikt, volgt even later daaruit een impuls die via de bundels van His en de Purkinje-vezels zich verspreidt over de gespierde kamerwand.

vaste ritme. Bij een flinke inspanning moet de bloedcirculatie wel drie tot vijf keer zo snel worden als in rust, wil het lichaam voldoende energie verkrijgen. Het hart kan daar voor een klein deel aan voldoen door per slag meer bloed te verplaatsen. Het grootste aandeel wordt echter normaliter geleverd door de versnelling van het sinusritme. Bij mensen die voor hun hartritme helemaal van de pacemaker afhankelijk zijn, stellen artsen de VVI- of AAI-pacemaker daarom in op een ritme dat

van die draad is hier het waarnemen van het eigen boezemritme. De samentrekkingen van de boezem worden, als binnen een zekere tijd de kamer nog niet samentrekt, gevolgd door een stimulatie van de kamer. Zo wordt de normale AV-geleiding elektrisch nagebootst. De kamers volgen weer gewoon het sinusritme, zodat de synchroniteit tussen boezems en kamers is hersteld. Voor een grote groep patiënten is dit een ideaal systeem, waarmee ze weer een volledig normaal leven kunnen leiden.



5

een compromis is. Meestal bedraagt dat ritme zeventig slagen per minuut; dat is sneller dan het gewenste ritme in rust en trager dan het ritme dat nodig is bij een matige inspanning. Als deze mensen een actief leven leiden, kan dit een bezwaar zijn. Zo kunnen ze energie tekort komen bij het traplopen. Een pacemaker met een variabel ritme is dan een uitkomst.

Het tweekamersysteem

Bij de pacemaker-patiënten met AV-geleidingsstoornissen is de oplossing van hun probleem vaak al in het hart zelf te vinden. Het kamerritme is dan wel te langzaam of onbetrouwbaar, maar het boezemritme is vaak normaal en, zoals gezegd, een uitstekende graadmeter voor de lichaamsbehoefte. Deze gedachte heeft geleid tot de ontwikkeling van de *dual-chamber/dual-demand*- of DDD-pacemaker. Deze heeft zowel in de rechterboezem als in de rechterkamer een draad liggen. De draad die in de boezem ligt, kan bij een te traag eigen ritme wel worden gebruikt om de boezem te stimuleren, maar de belangrijkste taak

Vraag naar variatie

Hoewel het tweekamer-systeem heel elegant is, is het helaas niet voor iedere patiënt een oplossing. Bij ongeveer de helft van het aantal pacemaker-patiënten kan het eigen boezemritme namelijk niet als dirigent dienen. Het boezemritme is bij hen te langzaam (sick sinus syndrome) of juist veel te snel zoals bij boezemfibrilleren. Bij dat laatste verschijnsel ontwikkelen de boezems zelf een spontaan, onregelmatig en snel ritme. Toch is het ook bij deze mensen wenselijk om het kamerritme te variëren met de lichaamsbehoefte. Er is dus een andere methode nodig om de lichaamsbehoefte en daarmee het optimale pacing-ritme te bepalen.

Een inspanning brengt een aantal reacties van het lichaam teweeg: de lichaamstemperatuur stijgt, de chemische samenstelling van het bloed verandert, de bloeddruk stijgt, het lichaam beweegt enzovoort. Welke lichaamsreactie geeft nu het beste de behoefte aan bloedvoorziening aan? Temperatuur, ademhaling, beweging... Er is veel onderzoek gedaan om

Tabel Pacing naar behoefte

Indicatie	Soort pacemaker
Sick sinus syndroom	AAI
Sick sinus syndroom, actieve patiënt	AAIR
Chronisch boezemfibrilleren met trage kamerrespons (AV-block)	VVI
Chronisch boezemfibrilleren met trage kamerrespons (AV-block), actieve patiënt	VVIR
AV-block, normaal boezemritme	DDD
Sick sinus syndroom en AV-block	DDDR

deze vraag te beantwoorden. Gekoppeld aan die vraag was daarbij de keuze van het instrument, ofwel sensor, die de lichaamsreactie kon meten en de ontwikkeling van een algoritme (rekenkundige bewerking) die de informatie van de sensor vertaalt in een pacing-ritme.

De eerste ritme-aanpassende of rate-adaptieve VVI-pacemaker verscheen ongeveer tien jaar geleden op de markt en kreeg de aanduiding VVIR mee. Binnen enkele jaren verschenen er ook AAIR- en DDDR-pacemakers.

Indicatoren en sensoren

De eerste sensor voor het meten van de lichaamsbehoefte aan bloedvoorziening, een piëzo-elektrisch kristal, is vaak met succes toegepast. Hij is aan de binnenkant van het pacemaker-huis gemonteerd. Zo'n kristal neemt bijvoorbeeld de trillingen waar die ontstaan door het lopen. Dit systeem reageert wel onmiddellijk op trillingen, maar helemaal niet op emotionele stress. Bovendien is het gevoelig voor alle trillingen, zodat fietsen over kinderhoofdjes in een heel ander hartritme resulteert dan fietsen over glad asfalt. De versnelling van het hartritme komt dus maar matig overeen met de geleverde inspanning. Toch zijn met dit systeem door de jaren heen honderdduizenden mensen redelijk goed geholpen.

Een recente verbetering ervan is het gebruik van een versnellingssensor (accelerometer), een meetinstrument dat ook in gebruik is in de

auto- en ruimtevaartindustrie. Deze sensor meet in plaats van trillingen juist de langzamere lichaamsbewegingen. Daardoor reageert het pacemaker-systeem veel specifiek en meer proportioneel op inspanning.

Belangrijke voordelen van deze systemen zijn de eenvoud van het gebruik en het feit dat een gewone pacemakerdraad kan worden gebruikt. Dat is van belang als de pacemaker een andere vervangt of later zelf vervangen wordt. Er hoeft dan geen nieuwe draad te worden geïmplant.

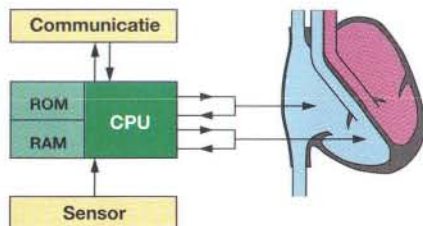
Een lichaamsreactie waar al vroeg mee werd geëxperimenteerd, is het ademhalingsritme. Dat ritme hangt immers ook samen met inspanning en zuurstofbehoefte. Daartoe be-

De pacemakertechnologie

De ontwikkeling van de pacemaker ging gelijk op met de ontwikkeling van de elektronische- en batterij-technologie. De komst van de transistor maakte het mogelijk een implanteerbare pacemaker te ontwikkelen. De eerste implanteerbare pacemaker kon alleen maar zeventig impulsen per minuut afgeven. De elektronische componenten waren aan elkaar gesoldeerd en de voeding was een nikkel-cadmium-batterij die met behulp van een ingebouwde spoel en een speciaal laadapparaat iedere twee weken moest worden opgeladen. Het geheel was in hars gegoten om het vloeistofdicht te maken. Het apparaat woog pakweg driehonderd gram en werd in de buikholte gedragen.



I-2



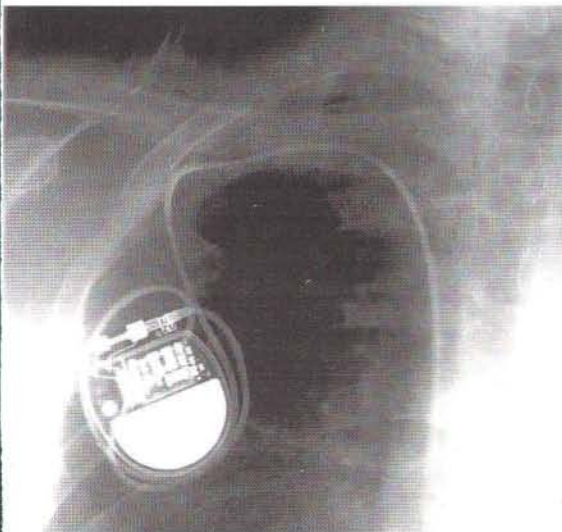
I-1

paalde men de elektrische weerstand tussen de pacemaker-behuizing en het uiteinde van een geïsoleerde draad die naar de andere kant van de borstkas liep. Bij inademing neemt die weerstand toe, doordat de lucht in de longen meer ruimte inneemt en de elektrische stroom dus een langere weg aflegt door het lichaamsweefsel rondom de longen heen. In eerste instantie bepaalde het systeem zo alleen de periode van de ademhaling. De versnelling van het ademhalingsritme correleert goed met het inspanningsniveau. De reactie is echter wel wat vertraagd ten opzichte van het begin en het einde van de inspanning. De extra draad is bovendien een belangrijk nadeel, evenals de gevoeligheid voor foutief positieve signalen:

het systeem ziet geen verschil tussen de versnelling van het ademhalingsritme bij een inspanning en bij bijvoorbeeld praten, hoesten of hyperventileren.

Thans zijn er pacemakers die de weerstand meten tussen het uiteinde van de gewone pacemaker-draad en het pacemaker-huis, zodat er geen extra draad meer nodig is. Bovendien gaan ze niet alleen na hoe vaak iemand inademt, maar ook hoe diep. Het systeem bepaalt namelijk niet alleen het ritme, maar neemt ook de grootte van de weerstandsverandering in beschouwing. Uit deze twee meetwaarden volgt het minuutvolume, dat beter dan het ritme overeenstemt met de lichaamsbehoefte.

INTERMEZZO

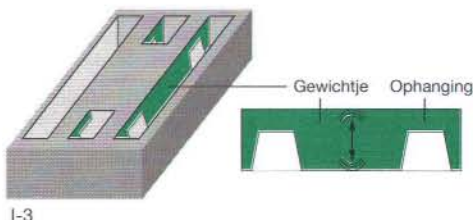


I-1. Een moderne pacemaker bestaat uit een chip, die is verbonden met de kamer en/of de boezem, een sensor en, via een 'antenne', met de buitenwereld.

I-2. Een pacemaker is aangebracht beneden het sleutelbeen. De batterij en de schakelingen zijn goed te herkennen.

I-3. Een versnellingsopnemer die in een pacemaker wordt gebruikt, werkt met een gewichtje dat is opgehangen aan piezo-weerstandbruggetjes. Aan de hand van de gemeten weerstand, die met de positie van het gewichtje varieert, zorgt de pacemaker ervoor dat de hartslag is aangepast aan de fysiologische behoefte.

Na de introductie van de kwik-zinkbatterij hoefde de pacemaker niet meer te worden opgeladen. Deze batterijen waren echter groot en lekten soms, zodat de pacemaker plotseling uitgeput raakte. Zo niet, dan was de levensduur toch beperkt tot ongeveer twee jaar. Een goed werkende pacemaker werd pas mogelijk met de komst van de *integrated circuit*-technologie in de jaren zeventig en de komst van de compacte en betrouwbare lithium-vaste stof-batterij.



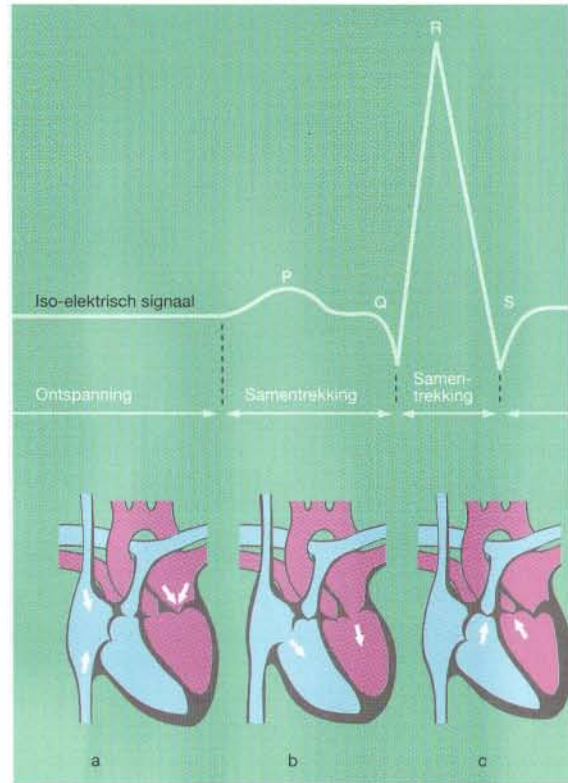
I-3

In de hedendaagse pacemaker zijn alle functies ondergebracht in een speciaal voor de pacemaker-fabrikant gemaakt IC. De zo ontstane software-gestuurde pacemaker kan men van buiten af programmeren. Een pacemaker weegt vandaag de dag niet meer dan 25 gram en wordt vlak onder de huid, iets lager dan het sleutelbeen, gedragen. Hij gaat, afhankelijk van hoe vaak hij moet bijspringen, ongeveer zes tot tien jaar mee en hoeft nog maar een tot twee keer per jaar te worden gecontroleerd.

De lichaamstemperatuur is een goed bruikbare indicator, maar vereist wel een speciale pacemaker-draad, met bij het uiteinde een temperatuursensor. De temperatuur neemt toe met het inspanningsniveau van 37°C tot wel 40°C, doordat spieren naast arbeid ook veel warmte produceren. Bij het begin van een inspanning stijgt de temperatuur echter erg traag, of daalt zelfs eerst iets doordat eerst kouder bloed uit de spieren het lichaam in stroomt. Ook is deze indicator enigszins gevoelig voor foutief positieve resultaten: het negeert langzame temperatuursveranderingen, zoals veroorzaakt door het dag- en nachtritme of koorts, maar beschouwt een snelle temperatuursverandering ten gevolge van een warm bad of een warme drank wel als een inspanning.

Dan is er nog een groep sensoren die gebruik maakt van het feit dat behalve de sinus-knoop ook de andere delen van het hart gevoelig zijn voor fysiologische invloeden. Bij inspanning zijn de samentrekkingen daardoor krachtiger en korter van duur. Dit kunnen we in een elektrocardiogram zien aan de tijd tussen de twee spanningspiekjes die de kamer afgeeft, één bij het begin van iedere samentrekking en één bij het begin van de ontspanning daarna. Dit zogenaamde QT-interval wordt bij inspanning iets korter. Het reageert wat langzaam, maar er is wel een mooi verband met de mate van inspanning en het is meetbaar met behulp van een gewone pacemakerdraad. Dit alles maakt het QT-interval een uitstekende indicator.

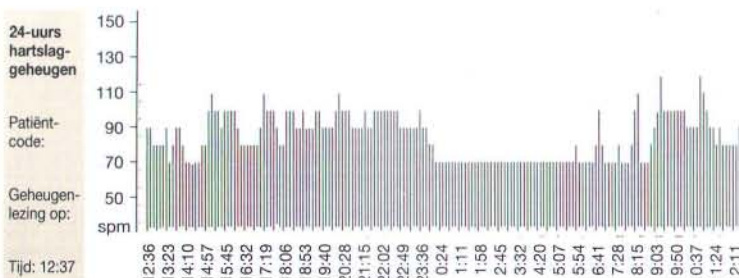
Een speciale draad met drie elektroden maakt het mogelijk de weerstand van het bloed in de rechterkamer te meten. Die weerstand hangt weer samen met het kamervolume. Aan de hand hiervan kan zowel het slag-



8

7. Een voorbeeld van een ritme-adapterende pacemaker is de Rhythmyx, gemaakt door de Nederlandse fabrikant Vitatron. De Rhythmyx varieert het pacing-ritme aan de hand van veranderingen in het QT-interval. Het bijzondere van deze pacemaker is, dat hij de instellingen van de ritme-aanpassing zelf verzorgt. Daarvoor meet

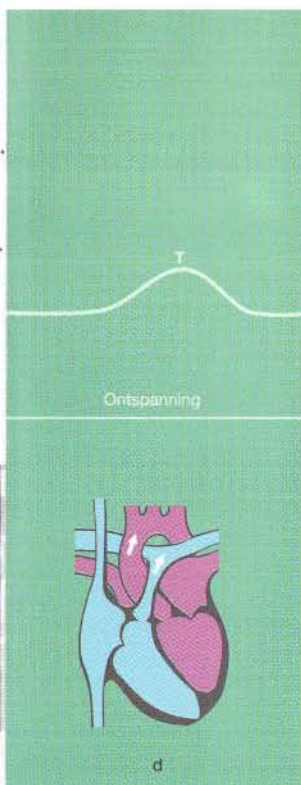
de pacemaker dagelijks onder andere het minimum en maximum QT-interval dat bij de patiënt voorkomt en regelt aan de hand van die metingen de frequentie-aanpassing bij. Ter controle onthoudt de Rhythmyx de bereikte ritmen tijdens het afgelopen etmaal, die bij een controle grafisch kunnen worden weergegeven.



7

10

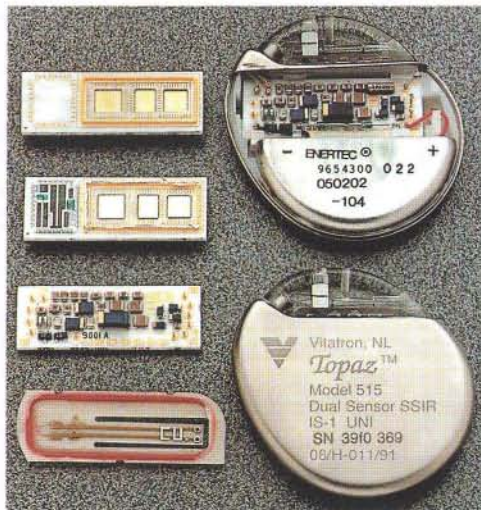




8. Een elektrocardiogram (ECG) toont de elektrische activiteit van het hart. De diverse punten in het ECG komen overeen met de fase waarin het hart verkeert. De P-top geeft de boezemsamentrekking weer, bij Q gaan de kamers samentrekken en bij T beginnen de kamers zich te ontspannen. Daarna kan het hart zich weer met bloed vullen. Het QT-interval is goed meetbaar. In sommige pacemakers dient het als een graadmeter voor de benodigde hartactiviteit.

9. Deze pacemaker bestaat voor de helft uit een batterij. Verder bevat hij een chip en elektronica, waaronder een radiospoel voor de communicatie met de buitenwereld.

het vinden van combinaties van sensoren die elkaars goede eigenschappen kunnen aanvullen. Momenteel lopen onder andere onderzoeken naar combinaties die trilling en QT-interval of trilling en ademhalings-minuutvolume bepalen. Het gedrag van zulke combinaties zal mooier zijn dan dat van de huidige enkelvoudige



9

volume als de tijd tussen het begin van de elektrische activiteit en het moment waarop het kamervolume begint af te nemen worden bepaald. Beide lijken redelijk snelle en bruikbare indicatoren, maar de vereiste speciale draad met drie elektroden is weer een handicap. Hetzelfde geldt voor de bepaling van de snelheid van de drukopbouw in de rechterkamer. Die wordt gemeten met een draad met als druksensor een piezo-elektrisch kristal bij het uiteinde.

De nabije toekomst

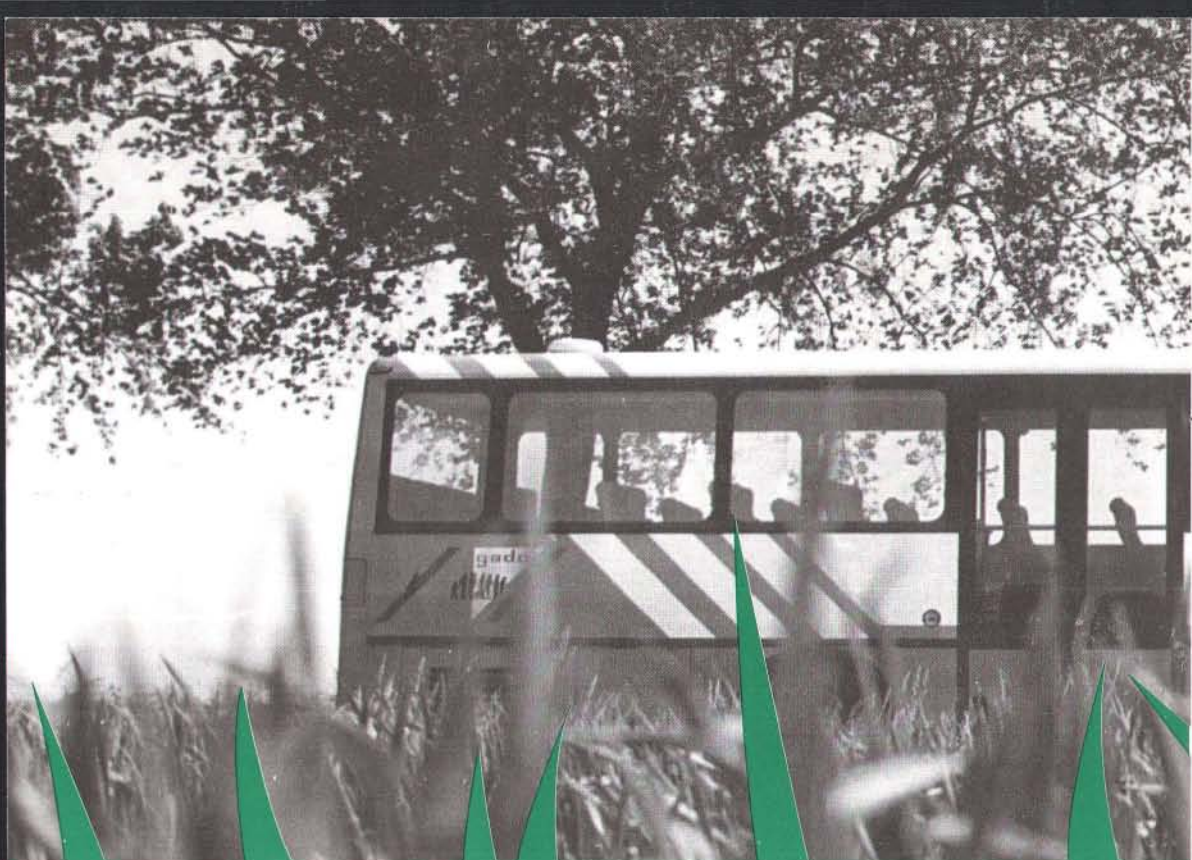
De ideale sensor – een die snel en evenredig op inspanning reageert, betrouwbaar is, weinig energie gebruikt en geen speciale draad vereist – is nog niet gevonden. Het lijkt er op dat alle snel reagerende sensoren matig en de langzamere beter proportioneel en specifiek zijn. Voor de nabije toekomst richt de inspanning in de pacemakerwereld zich dan ook op

dige sensoren, maar de stap vooruit zal niet zo groot zijn als die van vast-tempo-pacing naar ritme-aanpassende pacing.

Met de huidige keuze tussen VVI(R)-, AAI(R)- en DDD(R)-pacemakers kan al op de meeste ritme- en geleidingsstoornissen maatwerk worden geleverd. Er is dan ook een grote groep mensen op een effectieve en betrouwbare manier geholpen dankzij dit raakvlak van natuur en techniek.

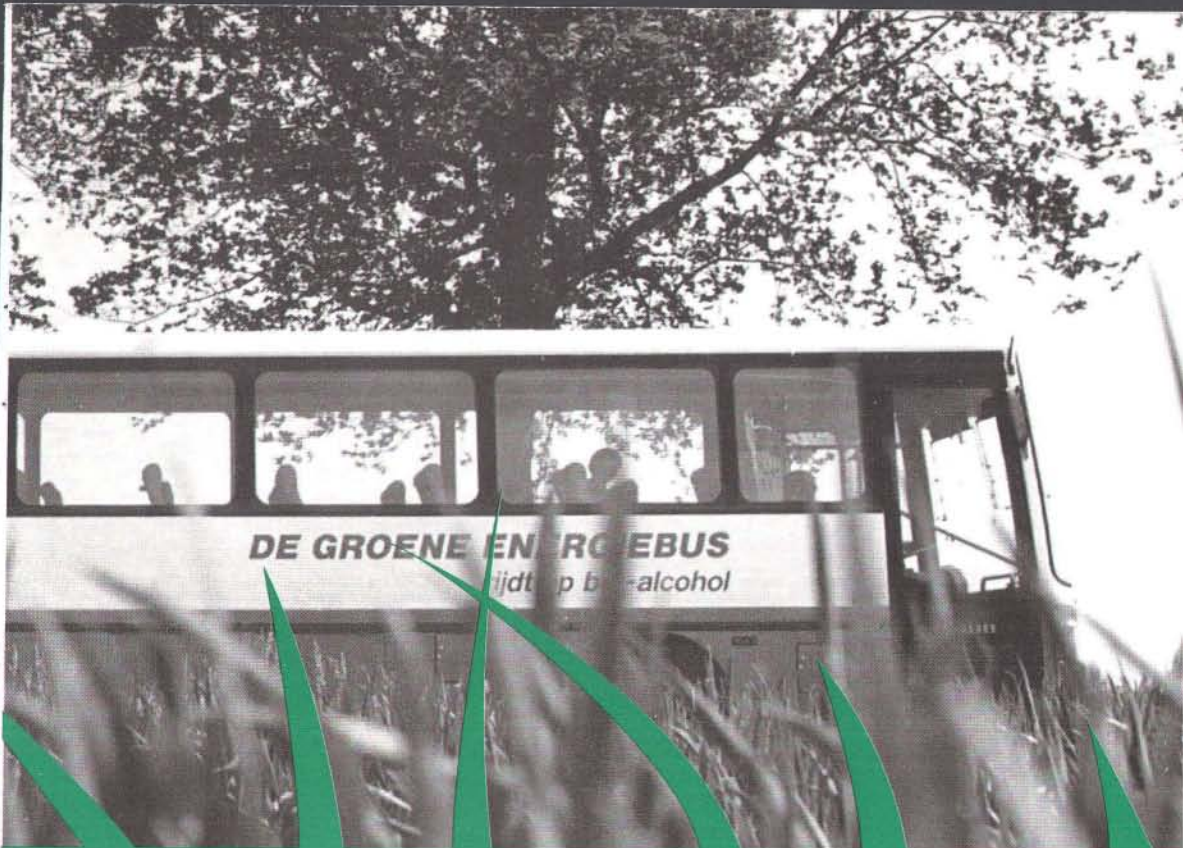
Bronvermelding illustraties

Vitatron Medical BV, Velp: pag. 2-3, 2, 7, 9.
Medtronic/Bakken Research Center, Maastricht: 1, 3, 6, I-2.
Benelux Press, Voorburg: 4.
Naar schema verstrekt door CPI, Nieuwegein: I-3.
De overige illustraties zijn afkomstig van de auteurs.



ALTERNATIEVE AUTOBRANDSTOFFEN

De bus die op bio-ethanol rijdt stoot geen roetdeeltjes en zwaveldioxide uit en levert een bijdrage aan het terugdringen van het broeikaseffect. Er ontstaat bij verbranding immers niet meer CO_2 als eerder de gewassen waaruit de alcohol wordt gemaakt, opnamen. Overigens worden fossiele brandstoffen ingezet bij de produktie van bio-ethanol (kunstmest, landbouwvoertuigen, transport en destillatie), zodat de CO_2 -balans niet zo mooi is als op het eerste gezicht lijkt



P.A. Okken
ESC/ECN, Petten

EEN WELKOM GROEN TINTJE

De benzine-auto heeft z'n langste tijd gehad. Weliswaar zijn de olievoorraden voorlopig nog niet uitgeput, maar een ander dreigend wereldprobleem, het broeikas-effect, noopt ons uit te kijken naar alternatieve brandstoffen. Welke zijn deze alternatieven, wat is hun bijdrage aan het broeikas-effect, hoe is de stand der techniek, wat kunnen we in de toekomst verwachten? In dit artikel komen de voor- en nadelen op een rijtje.

De brandstof van auto's bestaat bijna uitsluitend uit de aardolieprodukten benzine, diesel en LPG. Deze eenzijdige afhankelijkheid maakt de transportsector kwetsbaar voor plotselinge prijsstijgingen en stagnerende aanvoer. Daarnaast treden in de keten van oliewinning, transport van ruwe aardolie, verwerking in de olieraffinaderij en distributie via tankstations nadelige milieu-effecten op, vervuilen auto-uitlaatgassen de lucht en leidt de verbranding van fossiele brandstoffen tot het broeikas-effect. Gebruik van alternatieve brandstoffen, zoals aardgas, ethanol, methanol, koolzaadolie, elektriciteit of waterstof, kan een bijdrage leveren aan het oplossen van deze problemen.

CO₂, koolstofdioxide, is een kleurloos, reukloos, niet-giftig gas. Het draagt echter bij aan een wereldmilieuprobleem op lange termijn: het broeikas-effect. Wereldwijd levert de transportsector een aandeel van 25% aan de CO₂-uitstoot, voornamelijk door personenauto's. Met de stijgende welvaart komen er steeds meer auto's. Aan de andere kant worden auto's steeds zuiniger. Rekening houdend met deze trends zou volgens het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) de CO₂-uitstoot door autoverkeer de komende dertig jaar verdubbelen. Het IPCC adviseert de CO₂-uitstoot met 60% tot 80% te verminderen.



1



2

2 en 3. Aardgas staat als autobrandstof bekend onder de naam CNG, *compressed natural gas*. Hoewel het een fossiele brandstof is, pakt de uitstoot van verbindingen die het stadsmilieu beder-

ven, bij CNG lager uit dan bij benzine of diesel. Een nadeel is de lage energie-inhoud van een liter aardgas. Lijnbussen op aardgas zijn dan ook uitgerust met een aantal extra tanks.

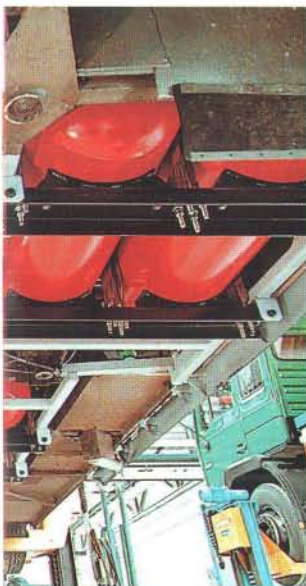
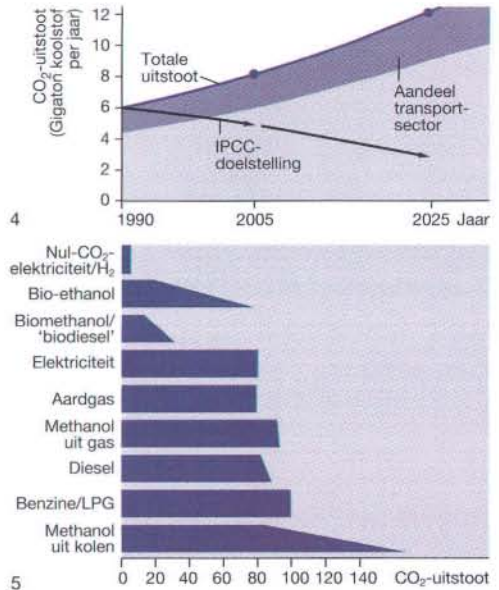


3



1. De éénpersoons Sun Favor is een demonstratievoertuig dat nooit naar de pomp hoeft. De zes meter lange en twee meter brede auto loopt op zonne-energie. Met elek-

tricititeit uit zonlicht, de cellen leveren maximaal een kilowatt, haalt het voertuig onder gunstige omstandigheden een snelheid van 120 kilometer per uur.



4 en 5. Het IPCC heeft becijferd dat de CO₂-uitstoot uit fossiele brandstoffen over dertig jaar het dubbele zal bedragen van nu, maar streeft naar een halvering. Alternatieve autobrandstoffen kunnen dat streven steunen. Het staafdiagram laat zien wat elk alternatief kan bijdragen. De uitstoot is relatief ten opzichte van benzine/LPG (100). Het schuine deel van een staaf geeft de spreiding in uitstoot aan. Die is afhankelijk van produktiewijze en motorrendement.

Men kan vraagtekens zetten bij dit soort prognoses en adviezen. Er zijn zoveel onzekerheden over het broeikaseffect dat het wel nooit helemaal precies duidelijk zal worden. We kunnen de inspanning voor CO₂-vermindering misschien het best beschouwen als een 'verzekeringspremie' tegen het risico van een ernstig nadelig broeikaseffect. Ook de transportsector zou een premiebijdrage moeten leveren.

Door het terugdringen van de mobiliteit, verandering van vervoermiddel (bus, trein of fiets) en nog zuiniger auto's kan de CO₂-uitstoot afnemen. Op den duur kan ook het gebruik van alternatieve brandstoffen een belangrijke bijdrage leveren. Voor inzicht in de CO₂-uitstoot die verschillende alternatieven teweegbrengen, moet men wel de uitstoot in de gehele brandstofketen ('from well to wheel') bekijken. Immers, niet alleen de uitlaatgassen, maar ook de uitstoot bij bewerking



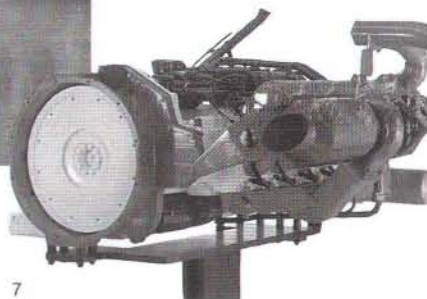
6

en transport van brandstoffen leveren hun bijdrage. Vergeleken met benzine is bijvoorbeeld de CO_2 -uitstoot bij diesel iets lager, doordat dieselmotoren een beter rendement hebben en er bij de raffinage minder energie nodig is. Ook bij gebruik van aardgas als autobrandstof is de uitstoot iets lager. Nochtans is de vermindering bij diesel of aardgas gering, hooguit een vijfde. Andere alternatieven maken veel grotere reducties mogelijk. We zullen in dit artikel steeds de totale uitstoot als uitgangspunt voor de vergelijking met benzine nemen.

Methanol

Een van de belangrijkste kandidaten voor de opvolging van benzine is methanol (CH_3OH), een vloeibare brandstof. Bij gebruik van pure methanol zijn er aanpassingen nodig in de carburateur en ontsteking van een benzinemotor, en in de brandstofleidingen en het tankstation, vanwege het corrosieve en giftige karakter van methanol. In het begin van de jaren tachtig is in Duitsland een grote *fleet-test* uitgevoerd waarbij duizend auto's een jaar lang op methanol reden. Bij gebruik van de alcohol in een zogenaamde arm-mengselmotor is het motorrendement gelijk of iets hoger dan bij benzine. Een veel hoger rendement zou mogelijk zijn bij gebruik in brandstofcellen.

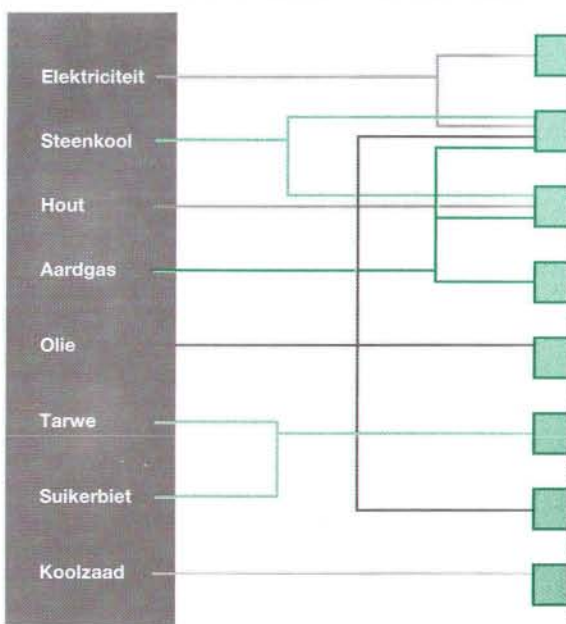
6 en 7. Auto's die rijden op methanol beginnen langzaam het experimentele stadium te ontgroeien. Duizenden voertuigen zijn inmiddels met een methanolmotor uitgerust; ze worden in serie geproduceerd. De firma MAN ontwikkelde op basis van een bestaande dieselmotor een ottomotor met methanol als brandstof. De motor is vooral bedoeld voor autobussen.



7

ALTERNATIEVE AUTOBRANDSTOFFEN

(Energie)bron



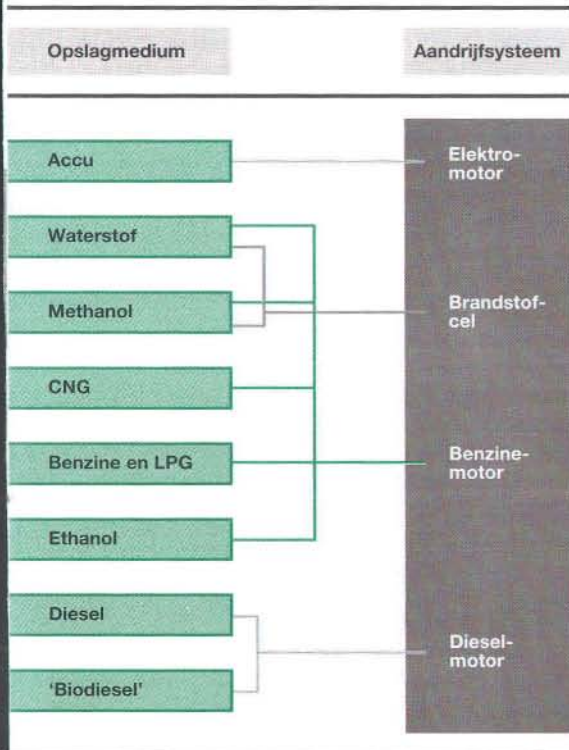
De totale CO_2 -uitstoot is afhankelijk van de produktiemethode van methanol. Negentig procent van de methanol wordt met stoom uit aardgas gemaakt. De CO_2 -uitstoot is daarbij iets lager dan bij benzine. Vergeleken met benzine veroorzaakt de methanolproduktie uit steenkool een toename van CO_2 -uitstoot, maar nog geen tiende deel van alle methanol wordt zo gemaakt. Door de produktie uit steenkool te combineren met elektriciteitsproduktie of door tijdens het proces de CO_2 te verwijderen, is een kleine verlaging ten opzichte van benzine mogelijk. De mogelijkheid om methanol te maken uit biomassa is in onderzoek. Bij thermische vergassing van droge biomassa zoals hout of stro, ontstaat synthegas. Dit mengsel van koolstofmonoxide (CO) en waterstof (H_2) kan in methanol worden omgezet. De CO_2 -balans is gunstiger dan die van benzine. Gasreïning en constante samenstelling van het gasmengsel zijn belangrijke aandachtspunten bij de verdere ontwikkeling van deze technologie.

Ethanol

Een ander alcoholisch alternatief is ethanol. Door vergisting van suiker of zetmeel ontstaat een water-ethanolmengsel, waaruit de alcohol gedestilleerd kan worden. In Brazilië en de Verenigde Staten is bewezen dat de produktie van 'bio-ethanol' uit suikerriet of maïs een haalbare kaart is. In deze landen is ethanol als autobrandstof op grote schaal geïntroduceerd in het begin van de jaren tachtig. Brazilië moest destijds al zijn aardolie importeren, terwijl de wereldmarktprijs voor suiker laag was. Sinds 1977 heeft de Braziliaanse overheid de produktie van ethanol uit suikerriet gestimuleerd. Thans produceren 374 fabrieken er jaarlijks twaalf miljard liter ethanol voor acht miljoen auto's. In de omgebouwde benzine-auto's volstaat een mengsel van 96% ethanol en 4% water. Zo'n mengsel is eenvoudiger te produceren dan zuivere ethanol. Het Braziliaanse *Pro-alcool*-programma verkeert momenteel in de problemen: de suikerprijs is hoog, de olieprijs is laag en Brazilië produceert inmiddels offshore aanzienlijke hoeveelheden aardolie. Daardoor stagneert de ethanolproduktie. Onlangs moesten bedrijven in Sao Paulo zelfs grote hoeveelheden methanol importeren om aan de vraag naar motorbrandstof te voldoen.

In de VS tanken veel automobilisten benzine waaraan tot tien procent ethanol is toegevoegd ('gasohol'). Om fasescheiding van dit benzine-ethanolmengsel te voorkomen is 99,2% zuivere ethanol nodig. Naast Brazilië en de VS produceren Canada, Zimbabwe en Zweden enig ethanol. Ook deze landen hebben een omvangrijke landbouwproduktie en een gebrek aan inheemse aardolievoorraden.

Brandstof uit biomassa in een duurzame landbouwpraktijk brengt netto geen koolstofdioxide in de atmosfeer. Weliswaar komt bij de verbranding CO_2 vrij, maar eenzelfde hoeveelheid is door het landbouwgewas tijdens de groei door fotosynthese uit de atmosfeer opgenomen. Er is wel sprake van 'indirecte' CO_2 -



8. Het is opmerkelijk dat met het aantal alternatieve energiebronnen het aantal brandstoffen toeneemt, terwijl er onder de motorkap eigenlijk niet

zoveel verandert. Voor vele alternatieven blijft een verbrandingsmotor de meest geschikte machine om chemische energie om te zetten in beweging.

uitstoot door gebruik van diesel voor landbouwtractoren, aardgas bij kunstmestproductie en brandstofverbruik bij vergisting en destillatie. Beide laatste processen vergen relatief veel energie; uit kostenoverwegingen gebruikt men er aardgas of steenkool voor. Belangrijke recente verbeteringen zijn de ontwikkeling van continue vergistingsprocessen, het gebruik van meer geavanceerde destillatietechnieken of andere scheidingsprocessen zoals met membranen en het gebruik van procesafval (stro) voor de eigen energievoorziening. In de energiebalans zijn nog aanzienlijke verbeteringen mogelijk. Bij de modernste destillatietechnieken, en met zorgvuldig kunstmestgebruik in de landbouw, lijkt een CO_2 -reductie van tachtig procent vergeleken met benzine goed haalbaar.

In Europa gaat de aandacht uit naar graan of suikerbiet als agrarische grondstof voor ethanol. De beschikbaarheid van landbouwareaal is een voorwaarde. Het totale akkerbouwareaal in de landen van de Europese Gemeenschap bedraagt vijftig miljoen hectare, waarvan 'Brussel' een kwart als teveel ziet. Akker-

10, 11 en 12. Wellicht voeden we in de toekomst niet alleen onszelf, maar ook onze auto met de vruchten van het land; bijvoorbeeld met koolzaadolie. Dr. Elsbett (11) ontwikkelde een speciale dieselmotor die op pure plantenolie loopt. De auto verspreidt daarbij de geur van een frituur. Overigens kan de Elsbettmotor ook dieselolie of een mengsel van diesel en plantaardige olie verbranden. Bij het gebruik van 'biodiesel' pakken enkele aanpassingen aan de motor gunstig uit. Vooral de stroming van het lucht-brandstofmengsel in de verbrandingskamer beïnvloedt het rendement.



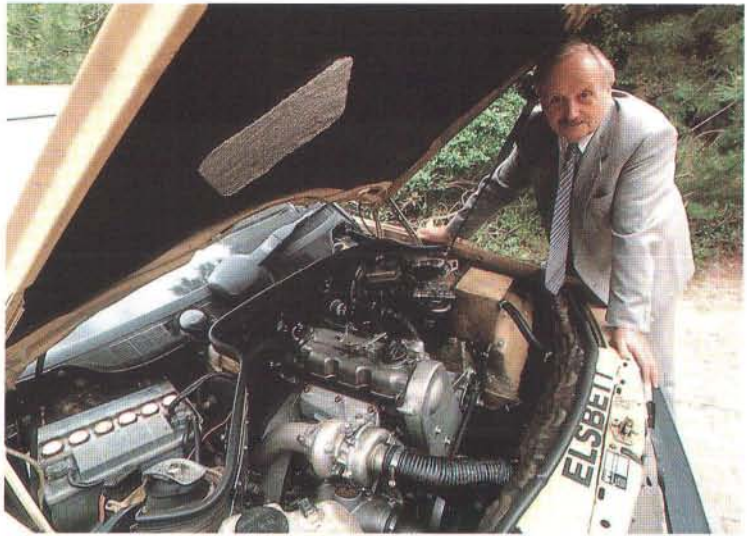
10



9

9. Een gat in de markt voor plantaardige olie is het gebruik als motorolie in (kwetsbare) natuurgebieden, waar de biologische afbreekbaarheid erg belangrijk is. Zo is in

het bos- en waterrijke Finland gebruik van plantaardige motorolie verplicht in de bosbouw en voor buitenboordmotoren.

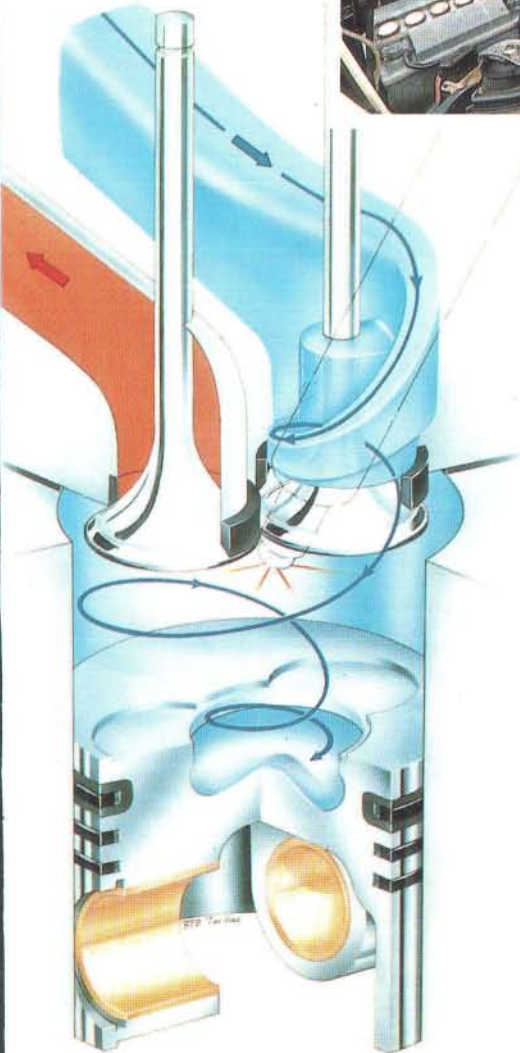


11

bouwers kunnen subsidie krijgen wanneer ze deze grond braak laten liggen of er niet-voedselgewassen op verbouwen. Het overbodige landbouwareaal zou voldoende bio-ethanol kunnen opleveren om in ruim twintig procent van de huidige Europese benzinebehoefte te voorzien. Het aandeel van België en Nederland is kleiner. De ethanolopbrengst van onze suikerbieten is per hectare weliswaar enkele malen hoger dan het EG-gemiddelde, maar er is niet veel landbouwgrond beschikbaar: slechts drie procent van het EG-akkerbouwareaal bevindt zich hier.

Koolzaad

Een andere gewas dat vloeibare motorbrandstof kan leveren is koolzaad. In conventionele dieselmotoren kan men koolzaadolie beter niet rechtstreeks gebruiken. Doordat koolzaadolie ongeveer twintig maal zo viskeus is als diesel, verstuipt de brandstof slecht. Hierdoor vindt onvolledige verbranding plaats en ontstaat een aanslag op de wanden van de verbrandingskamer en op andere plaatsen, waardoor verstopping optreedt. De Elsbettmotor is een aangepaste dieselmotor die wel rechtstreeks plantaardige olie kan gebruiken. Dankzij de constructie van zuigers en inspuiting treedt weinig warmteverlies op, zodat waterkoeling overbodig is. De motor wordt gekoeld met motorolie.



Vergelijking alternatieven

Techniek nu

Is de techniek reeds beschikbaar of nog in ontwikkeling? Benzine, methanol, ethanol en aardgas zijn 'bewezen technieken' en de benodigde onderdelen zijn gewoon in de handel. Het wereldwijde aandeel is 99% voor benzine, diesel en LPG; 0,8% voor bio-ethanol en 0,1% voor aardgas. Waterstof- of elektrische auto's bevinden zich in een experimenteel stadium en er zijn nog technische doorbraken nodig op het gebied van accu's of brandstoffen.

Opslag brandstof

Is de opslag in het voertuig makkelijk of moeilijk? Het makkelijkst is opslag in vloeibare vorm, zoals bij benzine, methanol, ethanol of biodiesel. Opslag van de gasvormige brandstoffen aardgas en waterstof is een stuk moeilijker, de opslagtank is zwaarder en neemt meer ruimte in beslag. Het moeilijkst is opslag van elektriciteit: honderden kilo's extra accu-gewicht zijn nodig bij een desondanks beperkte actieradius.

Risico's

Zijn er voor producent en gebruiker risico's verbonden aan het gebruik van de betreffende brandstof? Bij alle brandstofalternatieven zijn er risico's, zoals ongelukken met olietankers bij benzine, de giftigheid bij methanol, de bedrijfsongevallen in de landbouw bij biobrandstoffen of ongelukken door ondeskundig omgaan met gascilinders of elektriciteit. De risico's van verkeersongelukken bij autogebruik in het algemeen, zijn echter veel groter dan de risico's die de brandstoffen met zich meebrengen en daarom is geen verschillend oordeel gegeven.

Stadsmilieu

Heeft het gebruik van de brandstof een gunstige of ongunstige invloed op luchtkwaliteit en geluidshinder in de stad? De elektrische en de waterstofauto zijn het gunstigst: er zijn geen schadelijke uitlaatgassen en het motorlawaai is sterk verminderd. Ook aardgas scoort relatief gunstig. Methanol en ethanol zijn

niet wezenlijk beter dan benzine bij de recente uitlaatgasvoorschriften, tenzij methanol in een brandstofcel kan worden gebruikt.

CO₂-reductie

De CO₂-uitstoot in de gehele brandstofketen is in het artikel reeds uitgebreid besproken.

Kosten

Is het alternatief, afgezien van accijns, veel duurder dan de huidige benzine-auto? Methanol hoeft nauwelijks duurder te zijn dan benzine, de produktiekosten voor de brandstof verschillen weinig en de ombouwkosten bedragen niet meer dan duizend gulden of twintigduizend frank per auto. Bij aardgas zijn de ombouwkosten ruim driemaal zo hoog; de brandstofkosten zijn vergelijkbaar. Brandstoffen uit biomassa kosten zonder landbouwsubsidies drie- tot viermaal meer dan benzine. De produktiekosten van waterstof of elektriciteit zijn gelijk aan of iets lager dan die van benzine; veel zwaarder wegen de extra kosten voor een accu- of brandstofcelstelsysteem, die een middenklasse-auto al snel de helft duurder maken.



I-1

TABEL Onderlinge vergelijking van alternatieven

De tabel zet verschillende aspecten van de brandstofalternatieven op een rijtje. Het gaat daarbij om een *relatieve* beoordeling, dus om een onderlinge vergelijking van de alternatieven.

+ = positief
 0 = neutraal
 - = negatief

	Benzine, Diesel en LPG	Methanol
Aandeel nu	99%	
Techniek nu	+	+
Opslag brandstof	+	+
Risico's	0	0
Stadsmilieu	-	-
CO ₂ -reductie	-	+
Kosten	+	+
Uitputting/potentieel	-	+
Raffinagebelang B/NL	+	-
Beschikbaar Nederland	0	0
Beschikbaar België	0	0



I-1. Velen stellen zich een voertuig met aardgastanks voor als een rijdende bom. Dat valt nogal mee. In juli 1990 ging in Utrecht een remise met bussen in vlammen op. Enkele van de verbrande bussen waren uitgerust met aardgastanks. Tussen de resten van de bussen vond men de tanks terug, geblakerd en wat roestig, maar met inhoud.

de raffinagesector erg enthousiast zal zijn over alternatieve brandstoffen op de toch al overvoerde thuismarkt. Wellicht dat de houding iets minder ongunstig is bij biobrandstoffen en waterstof. Bio-ethanol en biodiesel zijn in kleine hoeveelheden te mengen met benzine en diesel en het potentieel is, vanwege het beperkte landbouwareaal, niet erg bedreigend. Bovendien zorgt de toevoeging voor een welkom 'groen tintje'. Olieraffinaderijen hebben ervaring met de productie van waterstof. In de toekomst kan waterstof uit fossiele brandstof met CO₂-opslag in lege gasvelden een belangrijke rol spelen. Oliemaatschappijen beheren zowel fossiele brandstofvoorraden als gasvelden.

Beschikbaar B of NL

Is meer dan voldoende brandstof beschikbaar in België of Nederland of kan deze gemakkelijk beschikbaar worden gemaakt? De aardolievoorraden zijn te klein om de binnenlandse vraag te dekken. In Nederland is wel nog voor vele jaren aardgas beschikbaar, er rijden inmiddels enige honderden aardgasauto's rond. Voor methanol geldt dat er veel productiecapaciteit aanwezig is, maar er zijn geen grote hout- of steenkoolvoorraden. De productiecapaciteit voor waterstof zou gemakkelijk kunnen worden uitgebreid en er zijn in Nederland lege gasvelden voor de eventuele opslag van CO₂. Bij elektrische auto's lijkt de situatie in België weer gunstiger vanwege de kerncentrales. Voor biobrandstof is in geen van beide landen voldoende landbouwgrond aanwezig om de vraag naar autobrandstoffen te dekken.

Uitputting/potentieel

In hoeverre legt de brandstof beslag op eindige voorraden? Benzine is ongunstig, bij de huidige consumptie zou de wereldaardolievoorraad het eerst zijn uitgeput, bij aardgas is de wereldvoorraad groter. Voor biobrandstoffen is de hoeveelheid akkerland een beperkende factor. Methanol kan op veel verschillende manieren worden gemaakt, uit aardgas, hout of steenkool; de wereldkolenvoorraad is zeer groot. Elektriciteit en waterstof tenslotte kennen geen limiet.

Raffinagebelang B/NL

Heeft de olieraffinagesector in België en Nederland belang bij de brandstof? In Antwerpen en Rotterdam bevinden zich grote raffinaderijen, die veel exporteren. Het is niet te verwachten dat

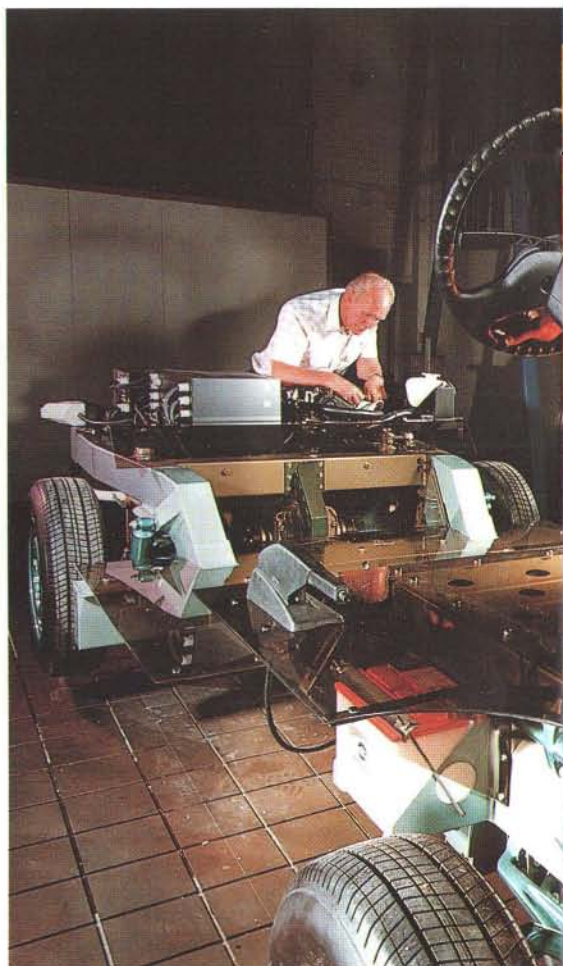
Bio-massa	Aard-gas	Water-stof	Elektri-citeit
0,7%	0,1%		
+	+	-	-
+	0	0	-
0	0	0	0
-	0	+	+
+	0	+	+
-	0	-	-
0	0	+	+
0	-	0	-
-	+	+	0
-	-	0	+

Verestering is een aantrekkelijk alternatief voor de rechtstreekse verbranding van plantaardige olie. De reactie met methanol is een bekend proces in de wasmiddelindustrie. Bij verestering van koolzaadolie ontstaat een vloeistof die wat viscositeit betreft vergelijkbaar is met diesel. Conventionele dieselmotoren kunnen zonder problemen op deze 'biodiesel' draaien.

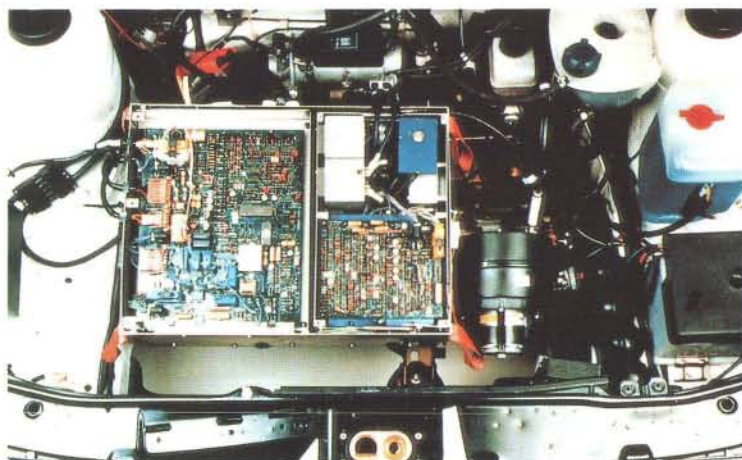
Een biodieselfabriek hoeft niet groot te zijn en de inzet van hulpenergie (elektriciteit voor de persinstallaties) is relatief gering. De uitgeperste koolzaadkoeken zijn geschikt als veevoer. Het overblijvende stro kan als briketten worden verstoofd in kachels en ketels. Bij de verestering ontstaat glycerol als nevenprodukt. De variaties in de opbrengst van veevoer, glycerol en brandstofbriketten hebben grote invloed op de economische haalbaarheid van een biodieselfabriek. De nevenprodukten brengen ongeveer evenveel op als de olie.

De elektrische auto

Een fundamenteel andere 'brandstof' is elektriciteit. Iedere autofabrikant heeft op proef wel een paar elektrische auto's rondrijden. Zo'n auto bouwen lukt best, maar de opslag van elektriciteit blijft een groot probleem. Met de gangbare loodaccu's zou een elektrische personenauto slechts een actieradius van honderd kilometer hebben bij een accugewicht van vijfhonderd kilogram. Nieuwe accutypen bieden een hogere opslagcapaciteit per kilo-

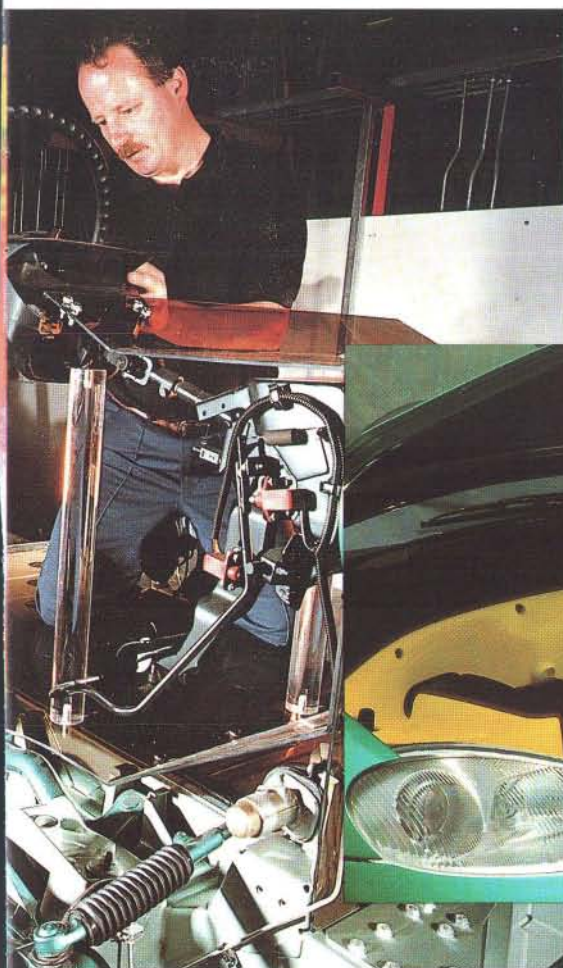


14



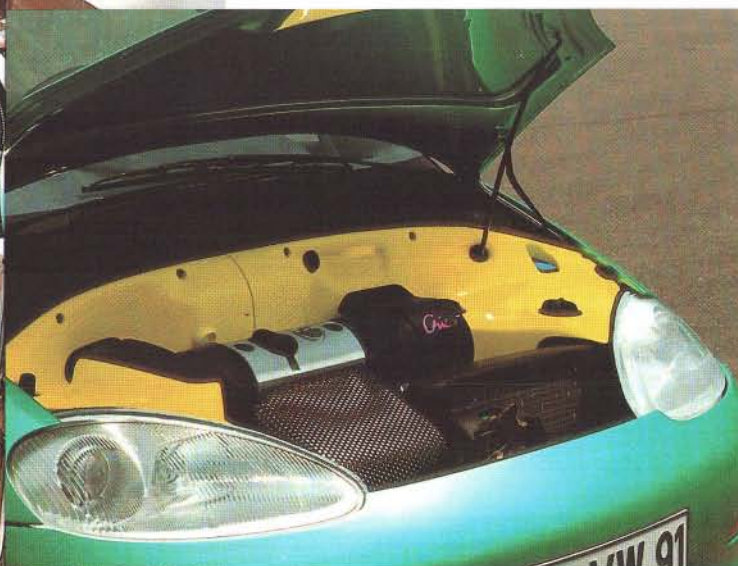
13

13. Hoewel een elektromotor een stuk eenvoudiger is dan een verbrandingsmotor, beschikt een elektrisch aangedreven auto over nogal wat meet- en regelinstrumenten. Die hebben vooral tot doel om zo zuinig mogelijk met de beperkte accu-inhoud om te gaan en daar waar mogelijk zelfs energie terug te winnen, bijvoorbeeld door te remmen met de motor, die daarbij als generator wordt geschakeld.



14 en 15. Naast de 'echte' elektrowagen lijkt de hybride-auto een aantrekkelijk alternatief. Die beschikt over een elektromotor voor in de stad en over een verbrandingsmotor die bijspringt bij het optrekken en de hoge snelheden voor zijn rekening neemt. Dan laadt die ook de accu op. Mede-

werkers van een Engels ingenieurbureau (14) leggen de laatste hand aan een prototype chassis met hybride-aandrijving, waarop een busje of een taxi kan worden gebouwd. De 'concept-car' Chico van Volkswagen (15) is uitgerust met allerlei nieuwigheidjes en heeft een hybridemotor onder de kap.



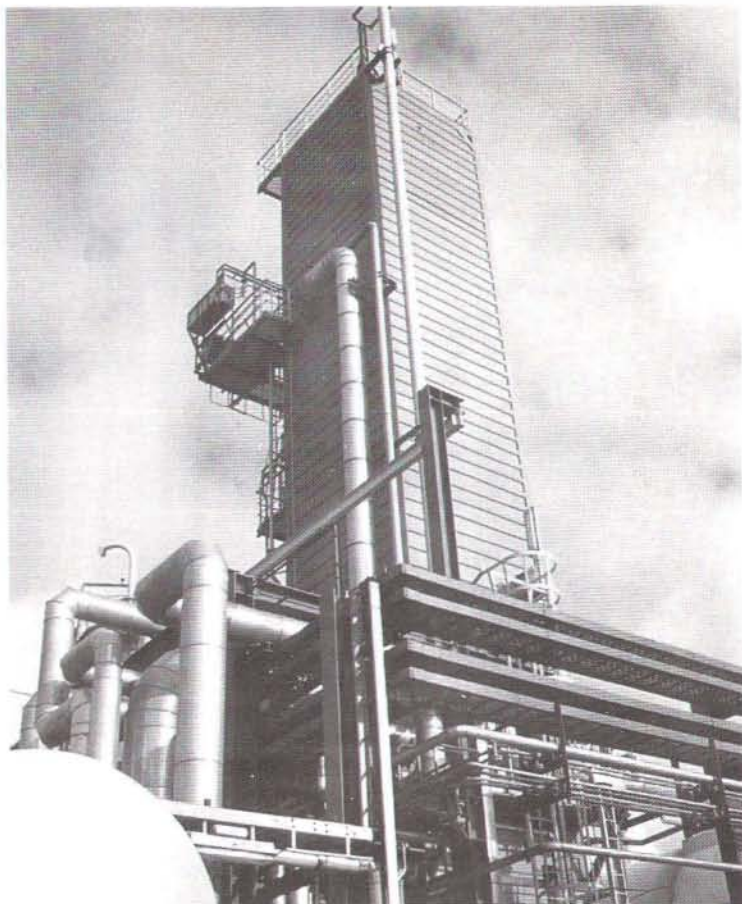
15

gram. De natrium-zwavelaccu, die voor experimentele auto's al beschikbaar is, kan viermaal zo veel energie bergen als een loodaccu van hetzelfde gewicht. Deze accu werkt bij een temperatuur van 300°C en heeft een gegarandeerde levensduur van drie tot vier jaar. Ze zijn nu nog erg duur. De hoge kostprijs, de beperkte levensduur en de noodzaak de accu op temperatuur te houden, maken de NaS-accu vooral geschikt voor voertuigen die dagelijks worden gebruikt.

Een elektrische auto heeft geen uitlaat. CO₂ komt alleen bij de elektriciteitscentrale vrij en de uitstoot is afhankelijk van de brandstoffen die daar worden verstoekt. Gevoed uit het Europese elektriciteitsnet, levert een elektrische

auto slechts een geringe bijdrage aan de CO₂-reductie. Er zijn echter grote verschillen tussen landen. In Nederland, waar de helft van de elektriciteit uit steenkool en de andere helft uit aardgas wordt geproduceerd, is de uitstoot van een elektrovoertuig iets hoger dan van een benzinewagen. In België, een land met veel kerncentrales, is de uitstoot beduidend lager. In het stadsverkeer is de geringe actieradius van elektrisch aangedreven auto's geen bezwaar en kan de afwezigheid van uitlaatgassen het leefmilieu gunstig beïnvloeden. De accu's zullen doorgaans 's nachts worden opgeladen. Dat is gunstig, want het elektriciteitsnet heeft dan een grote overcapaciteit doordat lang niet alle centrales kunnen worden stilgezet.

16. Wanneer waterstof een gangbare autobrandstof wordt, zal aardgas daarvoor een belangrijke grondstof zijn. De technologie om uit aardgas waterstof te maken beheersen we goed. Zij vindt op grote schaal toepassing bij kunstmestfabrieken, waar met de waterstof ammoniak wordt gemaakt.



16

Waterstof

Het laatste alternatief, waterstof, is volop in ontwikkeling. Het uitlaatgas bestaat uit zuiver water en ook voor waterstof hangt de CO_2 -uitstoot dus af van de manier waarop de brandstof is geproduceerd. Voor een energievoorziening zonder broeikasgassen wordt vaak gedacht aan elektrolyse met elektriciteit uit kerncentrales, waterkracht of zelfs zonlicht via centrales in de Sahara. Elektrolyse is echter een kostbaar proces. Veel goedkoper lijkt waterstofproductie uit aardgas in combinatie met opslag van vrijkomend CO_2 in lege gasvelden.

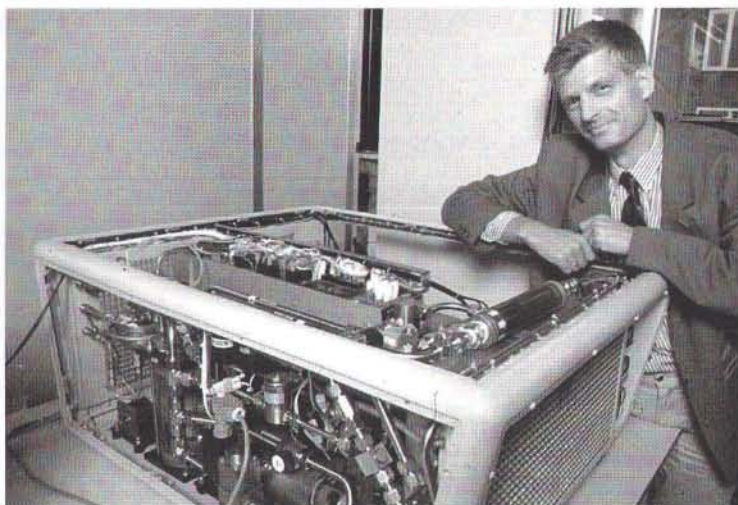
Een omgebouwde benzinemotor kan op waterstof lopen. Een toekomstige mogelijkheid is gebruik van waterstof in een brandstofcel. De ontwerpers gaan uit van een brandstofcel

voarin de auto. Deze produceert met een zeer hoog rendement (55-65%) elektriciteit voor de vier elektromotoren die de wielen aandrijven. Vergeleken met een omgebouwde benzinemotor is een twee- tot driemaal hoger rendement mogelijk.

In het bijzonder de polymeerbrandstofcel lijkt geschikt voor gebruik in auto's vanwege de lage celtemperatuur, de schokbestendigheid, de lange levensduur en de mogelijkheden voor massaproductie. Over de kosten van de brandstofcel bestaat nog veel onduidelijkheid. De belangrijkste componenten van de polymeercel zijn een vaste elektrolyt van een soort teflon, separatorplaten en zekere hoeveelheden platina. De kostprijs van dergelijke cellen – ze worden al gebruikt in de ruimtevaart – is nu nog erg hoog.

Waterstof kan worden opgeslagen als gas onder druk, als metaalhydride en in vloeibare vorm. Aan opslag kleven echter nogal wat bezwaren. Zo moeten drukcilinders erg hoge drukken (tot 600 bar) kunnen weerstaan. Bij metaalhydriden ligt de energiedichtheid per kilogram vrij laag. Het vloeibaar maken van waterstof kost veel elektriciteit. Bovendien heeft de auto daarbij een tank nodig die de waterstof op -253°C houdt en voorzieningen om de continu verdampende waterstof (1 à 2%

gen van autoverkeer niet lukt, zijn alternatieve brandstoffen nodig vanwege het broeikas-effect, naast de problemen van het opraken van olievoorraden en het stadsleefmilieu. Bij de huidige ontwikkelingen heeft de auto van de toekomst elektrische wiel aandrijving met als energieleverancier een accu of een brandstofcel op waterstof of methanol. In een tussenperiode kan een rol zijn weggelegd voor aardgas en voor biobrandstoffen uit bijvoorbeeld koolzaad en suikerbiet.



17

17. Een brandstofcel maakt uit waterstof of ethanol elektriciteit aan boord van het voertuig. Een brandstofcelvoertuig heeft geen extra accu's nodig en heeft een lager gewicht en een grotere actieradius dan een elektrovoertuig. De compacte polymeerbrandstofcel gooit hoge ogen voor de auto van de toekomst.

per dag) af te voeren. Wellicht kan men deze problemen vermijden met methanol die pas in de auto wordt omgezet in waterstof.

De aandacht voor brandstofcellen in de transportsector is sterk toegenomen sinds Californië de autofabrikanten heeft verplicht om in 1998 twee procent en in 2003 tien procent van hun productie als *zero emission vehicles* af te zetten. Dat worden dus elektrische of brandstofcelauto's. De verwachtingen omtrent dit initiatief zijn hooggespannen. Een soortgelijke verplichting in 1973 heeft immers geleid tot de grootschalige toepassing van de driewegkatalysator. Die uitlaattechnologie heeft daarna de hele autowereld veroverd.

Er is nog een lange weg te gaan voor automobilisten op grote schaal overgaan op alternatieve brandstoffen. Wanneer het terugdrin-

Bronvermelding illustraties

Fotografie John Mulder, Groningen: pag. 12-13
Nissan Europe NV, Amsterdam: 1
NV Vervoersmaatschappij Centraal Nederland, Uithoorn: 2
MAN-VW Truck & Bus BV, Vianen: 3 en 7
Volkswagen AG, Wolfsburg, D: 6, 12, 13 en 15
Fins Nationaal Verkeersbureau, Amsterdam: 9
Cebeco Handelsraad, Rotterdam: 10
Michiel Wijnbergh, Driebergen: 11 en 17
ANP-foto, Amsterdam: 1-1
London Pictures Service, British Embassy, Den Haag: 14
DSM, Heerlen: 16

Literatuur

Congresboek themadag alternatieve brandstoffen. Den Haag: ANWB, mei 1992.
Okken PA. Is het broeikas effect te vermijden? Natuur & Techniek 1988; 56: 3, 210-219.
Scenarioberekeningen voor IEA/ETSAP (International Energy Agency): Petten: ECN, ECN-C-92-066, december 1992. Mol: VITO, ENE.RV.92-04, mei 1992.
Congresboek studiedag nieuwe brandstoffen voor een milieuvriendelijker transport. Mol: VITO/WEL, maart 1992.

Lars van den
Hoek Ostende
en John de Vos

Nationaal
Natuurhistorisch
Museum, Leiden

BEELDEN UIT HET VERLEDEN





Zo'n twintig jaar geleden beschreef een onderzoeker hoe hij aan de hand van een voetafdruk van een onbekende dinosauriër het dieet van dit beest kon nagaan. Is dit het toppunt van wetenschappelijk kunnen of zegt het meer over de overmatige verbeelding van deze wetenschapper? Het laatste lijkt het geval. Voor het reconstrueren van prehistorische dieren zijn we in de eerste plaats aangewezen op de resten die van deze dieren bewaard zijn gebleven. Daarna kan kennis van de huidige dierenwereld ons een flink stuk verder helpen, maar uiteindelijk blijft een gezonde dosis fantasie noodzakelijk om oermensen en dinosauriërs te laten herleven.



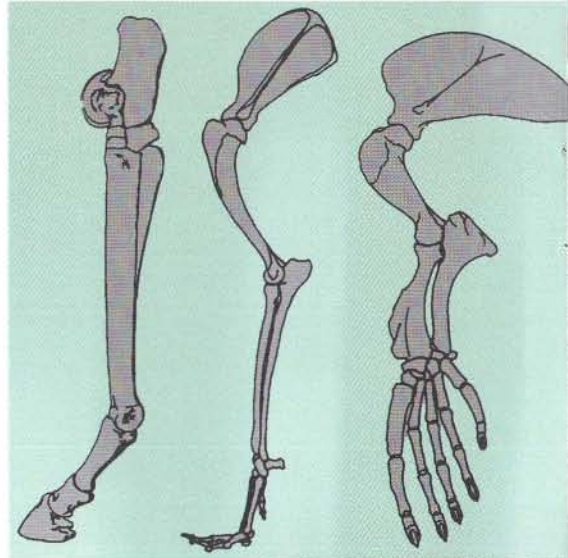
Bij het maken van reconstructies zijn we afhankelijk van de resten die we van een prehistorisch dier kunnen terugvinden. De mammoet, waarvan hele kadavers in bevroren toestand bewaard zijn gebleven, laat zich gemakkelijk reconstrueren. Een dier waarvan we alleen een voetafdruk kennen, is echter onmogelijk na te bouwen. In de regel moeten paleontologen werken met niet veel meer dan een paar botten en kiezen. Slechts in uitzonderingsgevallen kunnen ze aan de slag met een compleet opgegraven skelet.

Als we eenmaal de fossielen hebben opgegraven, begint het wetenschappelijke werk. Om dieren uit de oertijd te laten herleven, moet men de huidige dierenwereld goed kennen. De wetenschappers die met fossiele zoogdieren werken, hebben het wat dat betreft gemakkelijk; ze vinden nog genoeg levende verwanten van deze dieren. Maar hoe verder men in de tijd teruggaat, des te moeilijker het wordt. Men kan nu eenmaal geen levende dinosauriërs meer bestuderen.

Overigens zijn het niet alleen de gegevens van het dier zelf en een gedegen kennis van de huidige dierenwereld die tot een reconstructie leiden. Gegevens over de omgeving waarin het gevonden is (was hier vroeger een zee of juist niet), gegevens over andere planten en dieren uit dezelfde vindplaats (waren hier veel bomen of leefde het dier op de vlakte) of zelfs cultuuruitingen (welke werktuigen gebruikten deze oermensen) spelen een zeer belangrijke rol in reconstructies.

Maar hoeveel gegevens we ook hebben, een aantal zaken weten we niet en zullen we ook nooit te weten kunnen komen. Welke kleur hadden dinosauriërs? Hoe behaard waren onze voorouders? Op z'n hoogst kunnen we bepaalde zaken aannemen. Zo zal een dinosauriër niet roze zijn geweest en zullen de primitiefste mensachtigen nog vrij veel haar hebben gehad. Voor de precieze reconstructie moeten we hier echter onze fantasie gebruiken.

Botten en kiezen van gewervelde dieren kunnen ons veel vertellen over de levenswijze van een dier. Zo zien we aan de kiezen direct of we met een vleeseter of met een planteneter te maken hebben. De resten van de poten tonen ons hoe het dier zich voortbewoog; was het een draver, een springer, liep het rechtop of wandelde het op vier poten door de oertijd?



1

1. De functie van een lichaamsdeel weerspiegelt zich in de vorm van de botten. Aan de poten van paard, hond en zeeleeuw is dat goed te zien. Het maakt nogal wat uit of het dier hoofdzakelijk over de steppe draaft, zijn prooi langdurig met lichte tred achtervolgt of zich zwemmend voortbeweegt.

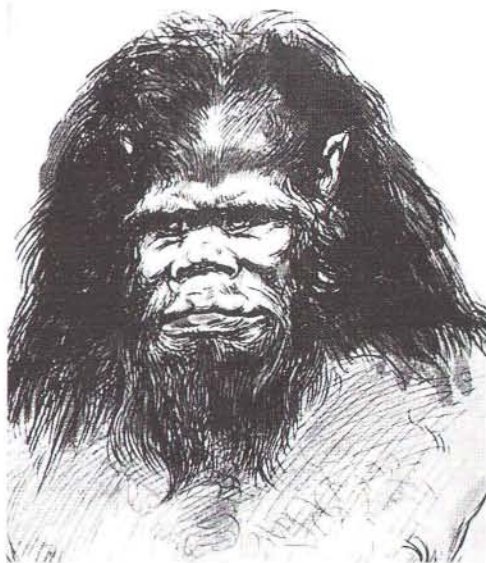
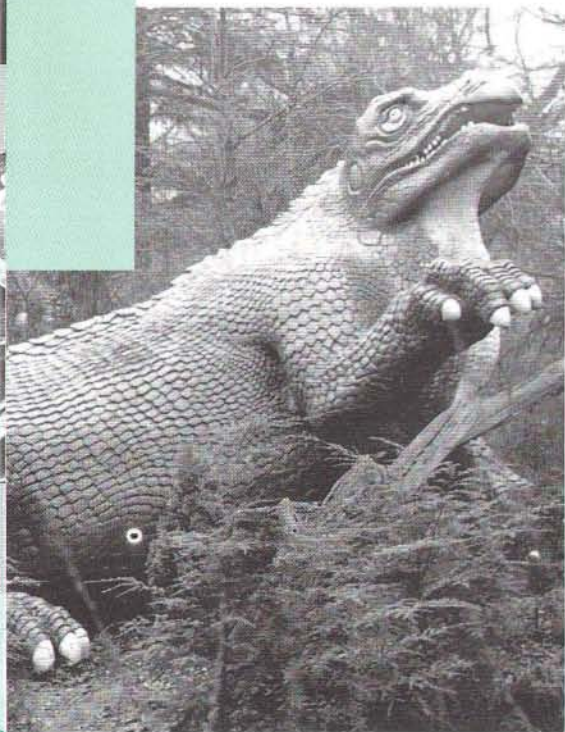
2. Sir Richard Owen gebruikte als eerste de term dinosauriërs. Hij beschreef ze en liet ze in reconstructies herleven. Zijn *Iguanodon* staat nog op vier poten. Later bleek dat het dier op twee poten liep.



2

Maar botten kunnen ons ook veel vertellen over de delen die we niet fossil vinden. Een skelet geeft niet alleen bescherming en steun aan het dier, het is ook de aanhechtingsplaats voor spieren. Die aanhechtingsplaatsen geven ons informatie over de dikte en de positie van de verschillende spieren. Als men dus een compleet skelet heeft gevonden – of dat uit botten van verschillende individuen heeft weten te reconstrueren – dan kunnen hierover de spieren laag voor laag worden aangebracht. Zo kan men een verrassend precies beeld krijgen van de vorm van een dier.

3. Ernst Haeckel, een der grootste biologen uit de vorige eeuw, stelde zich de missing link tussen mens en aap nog voor als een woeste barbaar.



3

enige tijd een obsessie voor verschillende wetenschappers. Zij speculeerden al druk hoe deze vorm eruit moet hebben gezien. Dubois had nu als eerste echt fossielen van een overgangsvorm in handen. Hij doopte zijn vondst *Pithecanthropus erectus*, de rechtopgaande aapmens.

Ofschoon hij maar een paar delen van het skelet had, waagde Dubois zich voor de wereldtentoonstelling van 1900 in Parijs aan een reconstructie van zijn aapmens. Naast de drie fossielen van Trinil gebruikte hij daarvoor ook een stukje kaak dat hij bij Kedung Brubus had gevonden. Hij maakte een levensgroot beeld, waarin hij zoveel mogelijk aapachtige en mensachtige kenmerken combineerde. Het aangezicht en de voeten (waar Dubois dus geen materiaal van had) doen sterk aan een mensaap denken. Het lichaam was echter weinig behaard en in zijn rechterhand houdt de *Pithecanthropus* van Dubois een gewei als een soort gereedschap.

Ongetwijfeld heeft deze eerste reconstructie een grote invloed gehad op latere tekeningen van de Javamens. Op een tekening van Burian, die een halve eeuw later werd gemaakt, herkennen we in grote lijnen het beeld van Dubois terug. Burian gebruikt zelfs de huid- en haarkleur zoals Dubois die, in een verantwoording bij zijn beeld, had voorgeschreven.

De Javamens

Ruim een eeuw geleden vond de Nederlandse legerarts Eugène Dubois bij het dorpje Trinil op Java een kies, een schedelkapje en een dijbeen. Aan de hand van het dijbeen zag hij dat dit toebehoorde aan een wezen dat net als wij rechtop liep. Het schedelkapje wees echter op een schedelinhoud die ligt tussen die van de mens en die van de mensapen. Dubois concludeerde dat hij een overgangsvorm tussen de aap en de mens had gevonden, een *missing link*. Het idee van een *missing link* was al

Het gezicht van de *Pithecanthropus* is bij Burian een stuk menselijker geworden. Waarschijnlijk komt dat doordat hij meer gegevens had dan Dubois. In de jaren dertig was er een aantal nieuwe vondsten gedaan op Java, die de reconstructie vergemakkelijkten. Aan de andere kant is het lichaam juist aapachtiger geworden. Kennelijk was het idee dat we van de apen afstammen nog zo eng, dat een duidelijk onderscheid met de moderne mens nodig was.

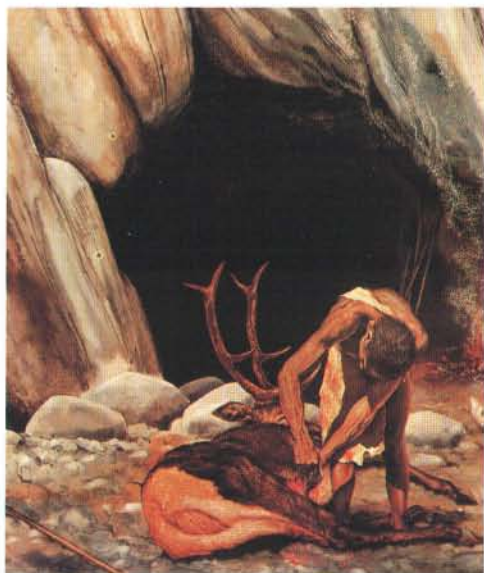
Pithecanthropus was overigens inmiddels niet meer dé *missing link*. In de jaren twintig hadden Dart en Broom in Zuid-Afrika mensachtigen gevonden die beduidend primitiever waren dan de Javamens, de Australopithecinen. Van de Javamens waren in de tussentijd werktuigen gevonden. Voor de makers van reconstructies was dat aanleiding om hem nog menselijker te maken door hem kleren te laten dragen. Tegenwoordig wordt deze mensachtige overigens geplaatst in het geslacht *Homo* – hetzelfde geslacht als de moderne mens – zodat de naam is veranderd in *Homo erectus*.

In zijn wetenschappelijke werk introduceer-

Spieraftdrukken op botten

Vissen, amfibieën, reptielen, vogels en zoogdieren vormen samen de gewervelde dieren. Kenmerkend voor de gewervelden of Vertebrata is dat deze allemaal een inwendig skelet hebben, dat minimaal bestaat uit een schedel en een wervelkolom. Dat skelet geeft stevigheid en bescherming, maar vooral ook een aanhechtingsplaats voor spieren. Door gewrichten kunnen verschillende delen van het skelet ten opzichte van elkaar bewegen. Het gewricht wordt bewogen door meestal een tweetal spieren (buig- en strekspier) die aan weerszijden van het gewricht door een pees met het bot zijn verbonden.

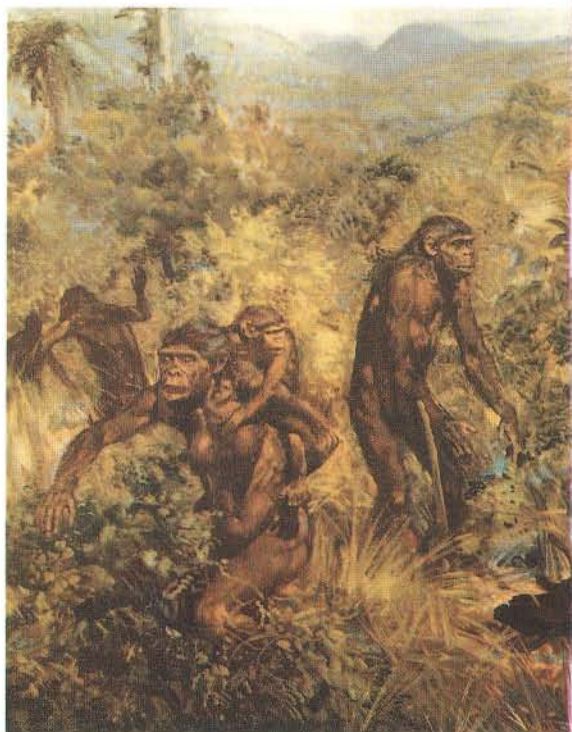
Omdat spierweefsel snel vergaat, kunnen we alleen in zeldzame gevallen direct zien hoe de spieren in een uitgestorven dier eruit zagen (bijvoorbeeld bij mammoeten uit de permafrost in Siberië). Meestal zullen we moeten werken met indirect bewijs. De afdrukken van de spieraanhechtingen op botten blijven vaak wel bewaard. Deze aanhechtingsplaatsen kunnen ons veel vertellen over de vorm van het spierstelsel.



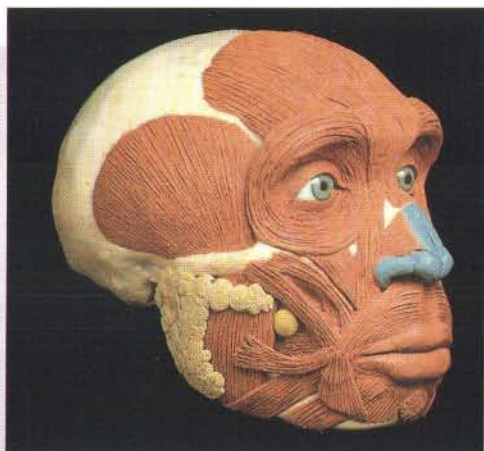
4

4 en 5. Reconstructies weerspiegelen de tijd waarin ze zijn gemaakt. Niet alleen wetenschappelijke ideeën, maar ook maatschappelijke opvattingen drukken er hun

stempel op. Een *Homo erectus* in gevecht met een roofdier, stamt uit het begin van de eeuw; een aangeklede verie is van later datum.



5



I-1

I-1 en I-2. Onderzoekers en kunstenaars van het American Museum of Natural History maakten gebruik van de aanhechtingsplaatsen van spieren op fossiele schedels en

van de anatomie van de moderne mens om *Homo erectus* te reconstrueren. Over de 'spierlaag' heen werkten ze het beeld af tot een mens van het Afrikaanse type.

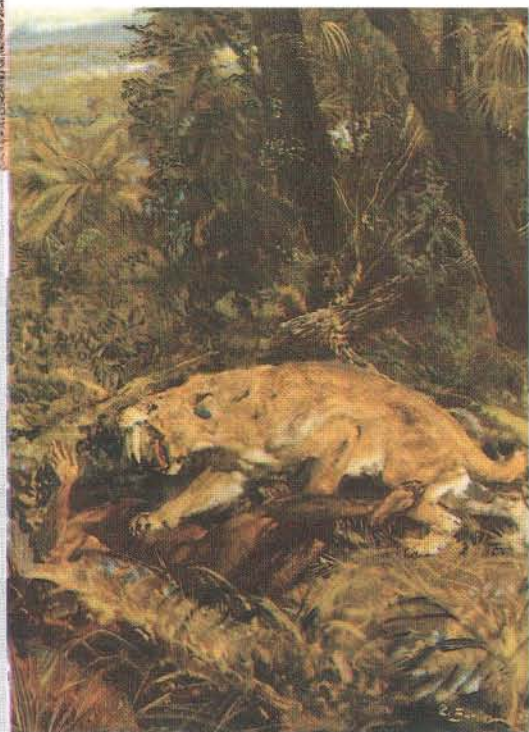


I-2

De aanhechtingsplaatsen zijn te herkennen doordat het oppervlak van het bot hier ruw is. Op plaatsen waar het oppervlak van het bot op zichzelf niet groot genoeg is voor een stevige verbinding met de pees, zijn in de loop van de evolutie richels en uitsteeksels ontstaan.

Aan de aanhechtingsplaatsen valt direct te zien waar de verschillende spieren hebben vastgezet. Om bij een fossiel dier de verschillende aanhechtingsplaatsen van één spier op botten terug te vinden, moeten we kijken naar de buigen en strekrichting van de gewrichten.

Ook de grootte van de spieren is aan de afdrukken op het bot af te lezen. Hoe groter de krachten zijn die een spier moet leveren, des te groter is de spier. Grotere krachten maken een groter aanhechtingsoppervlak nodig. Zo vallen bij de gorilla direct de grote uitsteeksels op de rugwervels op. Die zijn nodig als aanhechting voor de enorme nekspieren van het dier. Deze moeten voorkomen dat de schedel van de gorilla als het ware voorover tuimelt. Door de recht-opgaande gang van de mens balanceert de schedel meer bovenop de romp. De rugspieren hoeven niet meer zo'n grote kracht uit te oefenen en dus kan de mens met veel kleinere uitsteeksels aan de rugwervels toe.



de Dart een nieuwe kijk op onze voorouders. In zijn ogen waren het brute wilden die, als ze elkaar niet met puntige hyenakaken te lijf gingen, wel elders in de wildernis in een gevecht waren verwickeld. Het was de periode tussen de beide Wereldoorlogen, de tijd dat gangsterbendes de straten van Chicago onveilig maakten. En in de reconstructies vinden we dan ook

vaak gewelddadige taferelen, waarin onze Javamens zelfs worstelt met een sabeltandtiger.

In de jaren zestig sloeg dat beeld totaal om. De *flower power* ging niet aan onze voorouders voorbij, en de reconstructies toonden zachtvaardige, vruchtenverzamelende wezens. De kleren die ze een paar decennia eerder hadden gekregen, werden weer afgeschaft. Zo kunnen we aan een reconstructie zien in welke tijd hij is gemaakt. Een van de belangrijkste onderzoekers op het gebied van de fossiele



6

Oog in oog met *Homo erectus*

Homo erectus leefde tussen 1,6 en 0,5 miljoen jaar geleden. Hij was ongeveer 1,65 meter lang, woog vijftig tot zeventig kilogram en had een schedelinhoud van 800 tot 1250 cm³. *Homo erectus* was waarschijnlijk de eerste voorouder die zich buiten het Afrikaanse continent verspreidde. Hij maakte zijn eigen werktuigen. Een karakteristiek en algemeen voorkomend werktuig uit die tijd is de vuistbijl. Uit fossiele resten van *Homo erectus* hebben paleontologen al een groot aantal kenmerken van deze mensachtige kunnen afleiden. We kennen zijn skeletbouw inmiddels tot in detail.

De vervaardiging van modellen is het werk van de kunstenaar. Een van de belangrijkste beslissingen is de keuze van het materiaal waaruit de modellen zullen worden vervaardigd. Wij kozen voor polyurethaanschuim, onder andere omwille van de toepassingsmogelijkheden. Het materiaal is licht, gemakkelijk te bewerken en de modellen worden niet hol van binnen, maar blijven massief. Met 'gemakkelijk te bewerken' bedoelen we dat het materiaal zich gemakkelijk laat beeldhouwen. Door middel van het afschrapen van het overvloedige materiaal worden de juiste vormen gecreëerd. Ook de afwerking, het aanbrengen van klei, kleur en beharing, geschiedt vrij eenvoudig.

Bij de reconstructie begonnen we met het maken van een frame uit een koperen buis. Rondom dit koperen frame plaatsten we kartonnen wanden die we volgoten met polyurethaanschuim. Zo ontstond een grove massieve figuur met iets grotere afmetingen dan het uiteindelijk te maken model. Deze ruwe figuur werd vervolgens laag voor laag verder uitgesneden, als het ware gebeeldhouwd, en uiteindelijk gladgeschuurd totdat alle lichaamsdelen hun juiste afmetingen en vormen hadden. De kunstenaar



II-1



II-2

II-1 en II-2. De eerste en een der laatste reconstructies van *Homo erectus*, de Javamens. De eerste werd in 1899 vervaardigd door Eugène Dubois, een Nederlandse legerarts die op Java de eerste resten van deze mens vond. De hedendaagse reconstructie bevindt zich in het Museum in Den Haag.

maakte het hoofd en de handen afzonderlijk, omdat deze onderdelen een meer verfijnde en intensievere arbeid vereisen.

Het op deze manier ontstane beeld smeerden we in met houtlijm om het schuim een harde buitenlaag



6. Geneesheer Hoffmann haalde in 1776 de schedel van een maashagedis uit de Pietersberg. Hij heeft hem maar kort gehad. Aanvankelijk eiste de kanunnik die de vindplaats bezat, het fossiel op. In 1794 maakten de Fransen het buit. De schedel bevindt zich nu in een Parijs' museum.

7. Zorgvuldig paleontologisch veldwerk vormt de basis voor elke reconstructie. Vooral de omgeving kan veel over een fossiel vertellen.

te geven. Vervolgens werd het geheel bepleisterd en geboetseerd met pottenbakkersklei en met houtlijm verstevigd. In deze fase werden ook de ogen in de oogkassen vastgezet. Daarna werd de huidskleur aangebracht en werden de nagels bevestigd.

De laatste fase bestond uit het aanbrengen van beharing. Voor *Homo erectus* viel de keuze op zwart geitenhaar. Deze beharing heeft niet alleen de juiste lengte en glans, maar is ook gemakkelijk verwerkbaar. Het haar werd aangebracht (geplakt) met verdunde houtlijm en later uitgekamd.

Het uiteindelijke model van *Homo erectus* heeft een lichaamslengte van ongeveer 1,67 meter (afb. II-2). De spieren zijn in een goede verhouding aangebracht. Verder lijkt deze constructie van *Homo erectus* qua lichaamsbouw op de huidige mens. Aangezien we gekozen hebben voor het Aziatische menstype is de huidskleur geel-bruinachtig. De beharing is iets duidelijker dan bij de huidige mens. Het gezicht en de vorm van de schedel zijn heel karakteristiek: een kin ontbreekt, de wenkbrauwbogen zijn zwaar, het voorhoofd wijkt achteruit, het schedelgewelf is laag en er is een scherpe hoek tussen achterhoofd en de rest van de schedel.

Er zijn duidelijke verschillen tussen dit model en de reconstructie van *Homo erectus* (toen *Pithecanthropus erectus*) die Dubois in 1899 vervaardigde (afb. II-1). Wat in het oude model vooral opvalt, is dat de armen te lang zijn, het bovenlichaam vrij robuust is, de voeten te groot zijn en de grote teen te ver van de andere tenen afstaat. Ook staat het gebied rond de mond te ver naar voren.

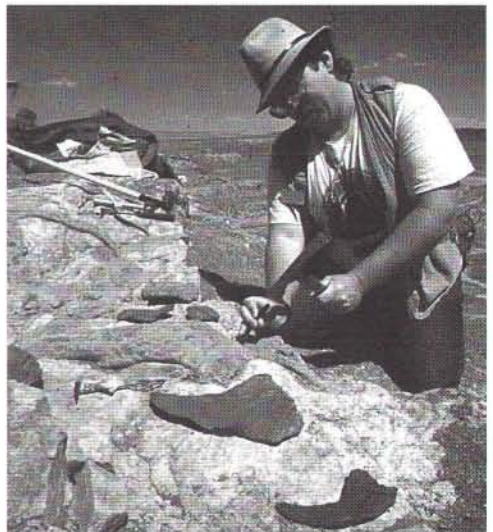
Dr H.T. Uytterschaut, Manila, Filipijnen
R. van Assen, Museon, Den Haag

mens, Richard Leakey, schotelt ons een beeld voor dat aannemelijker lijkt dan de oudere reconstructies. Culturele invloeden blijven echter van belang. Een tekening waarop een van onze voorouders op een sappige sprinkhaan kauwt, zal niet snel in de boekjes verschijnen.

Een mooi voorbeeld van hoe de samenwerking tussen wetenschappers en kunstenaars verloopt, vormen de modellen voor de *Hall of Human Biology and Evolution* van het American Museum of Natural History. Deze zaal zal in 1993 worden geopend voor het publiek. De modellen die hier worden getoond, zijn dan ook absoluut de meest recente reconstructies.

De wetenschappers die de *Homo erectus* lieten maken kozen voor een Afrikaanse vorm, gebaseerd op vondsten die enige jaren geleden in Kenia zijn gedaan. De twee modellen kwamen tot stand na een intensieve begeleiding van de kunstenaars, maar – zo liet de conservator van het *American Museum* ons weten – men was er nog niet tevreden over. “We are still learning”, zei hij naar aanleiding van de modellen die hij had gekregen. Hieruit blijkt maar weer dat het maken van reconstructies een proces is waarbij de samenwerking tussen wetenschapper en kunstenaar centraal staat.

Tekenaars die mensachtigen reconstrueren hebben vaak veel gegevens tot hun beschikking. De hoeveelheid materiaal laat weliswaar vaak te wensen over (mensenfossielen zijn nu



eenmaal zeldzaam), maar daar staat tegenover dat de anatomie van de recente mens erg goed bekend is. Kunstenaars hebben door het eindeloos tekenen van modellen bij uitstek een enorme kennis van de anatomie. Dubois, een wetenschapper, maakte zelf een beeld, maar zijn jarenlange ervaring als docent anatomie op een tekenacademie zal hem hierbij zeker hebben geholpen.

Hoe verloopt eigenlijk de reconstructie van andere diergroepen? Dé modellen voor reconstructies bij uitstek zijn de dinosauriërs en andere reuzereptielen uit het Mesozoïcum. Het is bijna onmogelijk om onder het skelet van een dinosauriër te gaan staan en je niet af te vragen: "Hoe moet dat dier eruit hebben gezien?" Laten we eens kijken naar 'ons eigen' reuzereptiel, de maashagedis.



10



8

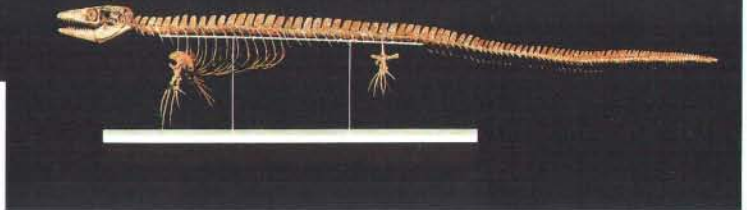


9

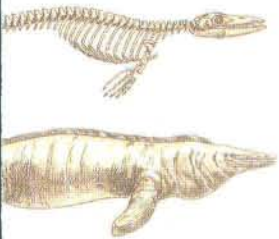
8. Het Amerikaanse bedrijf Dinamation wekt reuzereptielen bijna letterlijk tot leven. Vaak kunnen de levensgrote modellen bewegen en geluid voortbrengen.



10 en 11. De Scientific Art Studio heeft voor het Nationaal Natuurhistorisch Museum werkmodellen gemaakt van het skelet van een maashagedis en van een compleet gereconstrueerd dier. Aan de hand van deze modellen discussiëren wetenschappers en kunstenaars voordat ze tot een definitieve reconstructie komen.



11



9. Ten gevolge van een foutieve interpretatie doken er een tijdlang reconstructies van maashagedissen op met een verkeerde staart, namelijk de staart van een *Ichtyosaurus*.

De maashagedis

De reusachtige kaken van de maashagedis of *Mosasaurus* werden aan het eind van de achttiende eeuw gevonden in de Sint Pietersberg bij Maastricht. Het was zo ongeveer het eerste reuzereptiel ter wereld dat werd gevonden. Voor de achttiende-eeuwse wetenschappers kon het dier niets anders zijn dan hetzij een krokodil, hetzij een walvis. De eerste reconstructie van het 'Grote beest van Maastricht' toont dan ook een afschuwelijke kop aan een krokodilachtig lichaam. Deze reconstructie werd gemaakt door de Fransman Faujas Saint-Fond. De Nederlander Adrianus Camper kwam echter tot de conclusie dat het hier noch om een krokodil, noch om een walvis ging. Gesteund door de beroemde Franse anatoom

Cuvier toonde hij aan dat *Mosasaurus* een uitgestorven dier was, dat verwant was aan de varanen.

De naam maashagedis suggereert dat dit reuzereptiel een rivierbewoner was. Dat is niet zo. Aan het feit dat de Maas nu aan de voet van de Sint Pietersberg stroomt, dankt het dier zijn naam, maar in het Krijt (65 tot 135 miljoen jaar geleden) zag de wereld er heel anders uit. De heuvel is opgebouwd uit kalksteen die bestaat uit de minuscule skeletjes van marien plankton. Het is dan ook duidelijk dat hier ooit een zee was. Bovendien werden hier naast verschillende typen maashagedis onder andere zeeëgels, haaietanden en zeeschildpadden gevonden. Het was dus duidelijk dat ook de maashagedis een zeedier moet zijn geweest.

De reconstructie door Faujas Saint-Fond was vooral gebaseerd op de schedel van de maashagedis. Ofschoon men inmiddels veel informatie had over het skelet van deze dieren, werden reconstructies vooral ingegeven door de fantasie van de kunstenaar. Alle variaties leken mogelijk. Zo werden maashagedissen soms afgebeeld als mesozoïsche robben.

Deze gedachte werd waarschijnlijk ingegeven door de ideeën van de Britse anatoom Ri-



12

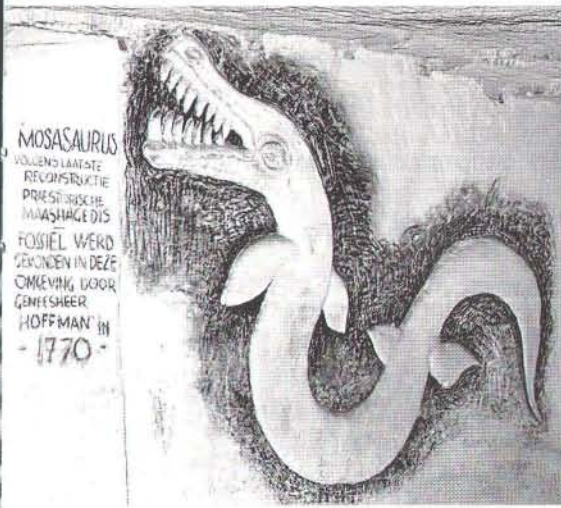
12. Burian lijkt voor zijn reconstructie van de maashagedis geïnspireerd door de zee krokodil. Het dier heeft weliswaar vinnen, maar doet in de rest van zijn lichaam sterk aan een krokodil denken.

13 en 14. De maashagedis is onverbrekkelijk met de Sint Pietersberg verbonden. Geen wonder dus dat we in haar onderaardse kalksteengroeven diverse reconstructies aantreffen. Hoewel de modellen nooit gemaakt zijn met een wetenschappelijk oogmerk, weerspiegelen ze wel het beeld dat paleontologen in die tijd over de maashagedis hadden.

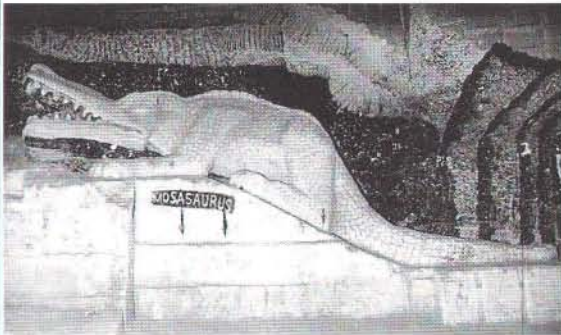
chard Owen. Deze liet in zijn reconstructies de *Ichtyosaurus* of vishagedis, een ander zeereptiel, regelmatig aan land kruipen. Op zich lijkt dit niet eens zo'n rare theorie. Moderne reptielen zoals zeeleguanen moeten ook regelmatig zonnen om hun lichaamstemperatuur op peil te houden. Nieuwe vondsten toonden echter aan dat het lichaam van de vishagedis net als een dolfijn puur aan het leven in het water was aangepast. In sommige reconstructies zien we dat deze ontdekking meteen ook op mosasauriërs wordt toegepast: die worden vanaf dat moment uitgerust met een typische ichtyosaurusstaart. Uit nader onderzoek aan het skelet blijkt echter dat deze reconstructie niet klopt. Later vinden we *Mosasaurus* dan ook terug als een reusachtige zeeslang of als een soort zee krokodil.

Maar hoe heeft het dier er nu in werkelijkheid uitgezien? Nederlandse natuurhistorische musea werken momenteel samen om tot een driedimensionale reconstructie van de maashagedis te komen. Zoals we al zagen, begint een goede reconstructie bij een grondige anatomische studie. En daarvoor is veel materiaal nodig. Teylers Museum in Haarlem en het Natuurhistorisch Museum Maastricht hebben oude collecties met fossielen van de Pietersberg, waarin veel materiaal van verschillende maashagedissoorten bewaard is gebleven. En het Nationaal Natuurhistorisch Museum in Leiden heeft onlangs een compleet skelet van *Platecarpus*, een Amerikaanse maashagedis, aangeschaft.

Met behulp van al dit materiaal is het skelet van een *Mosasaurus* op schaal nagebouwd.



13



14

Hiervoor is een specialist in het bouwen van reconstructies aangetrokken. Aan het skelet kan in grote lijnen de vorm van het dier worden afgelezen. Ook sommige details, zoals de vorm van de vinnen, zijn direct aan de vorm van het skelet af te lezen. De relatief smalle basis geeft aan dat de vinnen vrij beweeglijk moeten zijn geweest en dus een belangrijke rol hebben gespeeld bij het manoeuvreren. Door in gedachten de spieren op het skelet aan te brengen, kan nu een schaalmodel van het hele wezen worden gemaakt.

Voor de kleur en de structuur van de huid kunnen we niet naar een recente 'maashagedis' kijken. Toch is hier wel iets over te zeggen. Als reptiel moet het dier waarschijnlijk schubben hebben gehad, hoewel we daar niet helemaal zeker van zijn. Uit afdrukken weten

we dat dinosauriërs bijvoorbeeld eerder een olifantsachtige huid hadden. Verder weten we dat vrijwel alle zeedieren een lichte onderkant en een donkere bovenkant hebben. Op deze manier steken ze van bovenaf gezien niet af tegen de donkere zeebodem en vallen ze van onderaf gezien weg tegen het invallend licht. Mosasaurus zal hoogstwaarschijnlijk geen uitzondering op deze regel zijn geweest.

Het model dat zo ontstaat, kan weer de basis vormen voor verdere discussies. Zo liet de kunstenaar van het mosasaurusproject het dier een S-bocht maken in het verticale vlak. Voor de wetenschappers was dit aanleiding om eens te kijken of de wervelkolom deze beweging wel kon maken. Dat leidde tot de conclusie dat het dier zich eerder met zijdelingse bewegingen moet hebben voortbewogen. Zo ontstaat door samenspel van kunstenaar en wetenschapper een beeld van het zeemonster.

We zullen nooit zeker weten hoe het is om een reuzereptiel in levende lijve te aanschouwen of hoe onze voorouders er precies uit hebben gezien. De enorme verscheidenheid in de reconstructies die in het verleden zijn gemaakt, geeft dit al aan. Maar het Nederlandse mosasaurusproject toont aan, dat we met een beetje speurwerk en een goede dosis anatomische kennis een heel eind kunnen komen. En zo kunnen we dan, zeventig miljoen jaar na dato, alsnog oog in oog komen te staan met ons eigen reuzereptiel, *Mosasaurus*.

Bronvermelding illustraties

Diergaarde Blijdorp, Rotterdam: pag. 26-27 (dinosaurus)
 Foto Museon/Cris Raab, Den Haag: pag 27 en II-2
 London Press Service: 2
 J. Waechter, Londen: 4
 Z. Burian, Praag: 5 en 12
 Ian Tattersall, American Museum of Natural History: I-1 en I-2
 Nationaal Natuurhistorisch Museum, Leiden: I-1, 10 en 11
 (*Mosasaurus*-model Scientific Art Studio, R. Holthuysen; foto I. Henneke)
 © Dinamation International Corp., Irvine, Californië: 7 en 8
 Jan Spee, Maastricht: 13 en 14
 Met dank aan Natuurhistorisch Museum Maastricht voor de hulp bij het verkrijgen van de afbeeldingen 6, 9, 13 en 14.

Quantummechanica is universeel en geeft ook een beschrijving van de eigenschappen van stoffen. We benutten die eigenschappen en bouwen transistoren die miljoenen apparaten, van computers tot horloges, besturen.

Jim Lesurf

TRANSISTOREN

De lezer die zich thuis over dit artikel buigt, is waarschijnlijk omringd door duizenden transistoren. Ze bevinden zich in de televisie, in de stereo-installatie, misschien zelfs in de wasmachine of in het polshorloge. Elk van deze apparaten kan gemakkelijk minstens honderd transistoren bevatten, een computer zelfs wel een miljoen. Er zijn op aarde meer transistoren dan mensen.

We gebruiken **transistoren** niet alleen voor de versterking van elektrische signalen, zoals radiosignalen die door een antenne zijn opgevangen, maar ook als elektronische schakelaars. Netwerken van deze schakelaars, logische schakelingen, regelen de besturing van elektronische apparatuur of de gegevensverwerking in computer. Hoe een transistor werkt, kunnen we begrijpen met behulp van de **quantummechanica**.

Energieniveaus

Elektronen in atomen

Allereerst moeten we begrijpen hoe elektronen zich ge-

dragen in een afzonderlijk atoom. Eén van de fundamentele ontdekkingen van de quantummechanica was, dat de elektronen in een geïsoleerd atoom slechts bepaalde energieën kunnen hebben, zich slechts op bepaalde energieniveaus kunnen bevinden.

De elektronen gedragen zich als een zwerm slecht gehumeurde vogels die willen neerstrijken op een boom met maar een paar takken. Elke vogel die op een tak is geland, zal vogels die naast hem proberen te gaan zitten, weggagen. Na verloop van tijd bevindt er zich op elke tak één vogel. Hoe hoog de vogels boven de grond zitten, is afhankelijk van de vorm van de boom. Het is onmogelijk voor de vogels om te gaan zitten op een hoogte waar geen tak is. Evenzo kunnen elektronen in een atoom slechts bepaalde energieniveaus bezetten en geen tussenliggende energiewaarden hebben. In tegenstelling tot vogels, zullen elektronen echter altijd het laagst mogelijke energieniveau innemen.

In werkelijkheid zijn atomen zelden geïsoleerd. Gewoon-

lijk ontvangen ze energie van buiten, waardoor elektronen naar hogere energieniveaus worden gestoten. Elk atoom beweegt en botst tegen andere atomen en elk atoom zal af en toe worden getroffen door fotonen (lichtdeeltjes). Hierdoor kunnen elektronen extra energie krijgen. Hoe hoger de tem-



peratuur, hoe sneller de atomen bewegen en hoe meer energie bij botsingen vrijkomt, zodat de elektronen steeds hogere energieniveaus kunnen bereiken.

Wanneer een elektron naar een hoger energieniveau springt, laat het een lege plaats achter. Deze plaats wordt kort daarna ingenomen door een elektron dat van een hoger energieniveau komt. Daarbij komt de extra energie van dat elektron vrij als een foton.

Omdat de elektronen negatief zijn geladen en de atoomkern een positieve lading heeft, is de kracht die de elektronen aan de atoomkern bindt **elektromagnetisch** van aard. Als een groot aantal atomen dicht bij elkaar wordt gebracht, zorgen de elektromagnetische krachten tus-

sen naburige elektronen en atoomkernen ervoor dat de atomen samenklonteren tot een vaste stof.

Elektronenbanden

Verboden zones

De elektronen rondom een bepaalde atoomkern zullen ook worden beïnvloed door nabijge atomen. We kunnen het effect hiervan op de energieniveaus van de elektronen vergelijken met het ontstaan van een ononderbroken bladerdak uit de takken van de bomen die in een regenwoud zo dicht bij elkaar staan. De onderlinge nabijheid van atomen in vaste stoffen zorgt ervoor dat de energieniveaus van de elektronen een aantal continue banden vormen.

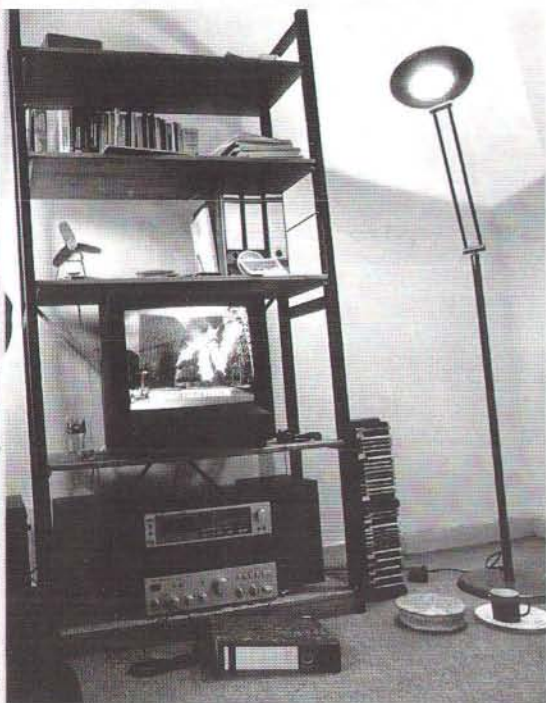
Die banden worden gescheiden door verboden zones, energieniveaus die de elektronen niet kunnen innemen.

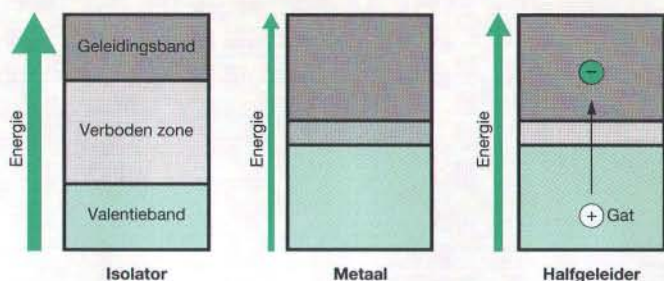
Onder de meeste omstandigheden zijn slechts twee energiebanden van belang voor het gedrag van een vaste stof. Dit zijn de zogenaamde valentieband en de geleidingsband. Als er geen extra energie is toegevoegd, zitten alle elektronen in de laagste banden. De **valentieband** is de hoogste van deze banden. De elektronen in de valentieband dragen het meest bij aan de krachten die de atomen van een vaste stof bij elkaar houden. De **geleidingsband** is de laagste lege band en dus de eerste band boven de valentieband.

De elektronen in de laagste banden kunnen niet vrij bewegen door de vaste stof, ze zitten vast. Bij hogere temperaturen kunnen elektronen, door trillingen in de vaste stof, energie opnemen en over de verboden zone naar de geleidingsband springen. Daar kunnen ze wel vrij bewegen en kunnen ze elektriciteit geleiden.

De dikte van de verboden zone tussen de valentie- en geleidingsband bepaalt dus of een vaste stof wel of geen goede geleider is. Als de zone breed is, hebben de elektronen veel energie nodig om hem te passeren, zodat niet veel van hen daartoe in staat zijn. De vaste stof zal een slechte geleider zijn. Als de zone smal is, kunnen veel meer elektronen de geleidingsband bereiken. De dikte van de verboden zone en het patroon van de energiebanden hangen af van het soort

We gebruiken tal van elektronische apparaten zonder erbij na te denken hoe de transistoren daarin werken. Een studentenkamer bevat al gauw telefoon, geluidsinstallatie, wekker, radio en, zo mogelijk, een computer. (Foto: Gerard Til/Hollandse Hoogte)





In vaste stoffen kunnen elektronen slechts in bepaalde vaste energiebanden zitten. De valentieband is de hoogste gevulde band en de geleidingsband de laagste lege band. De dikte van de verboden zone tussen beide banden bepaalt of een materiaal een goede elektrische geleider is.

atomen waaruit een vaste stof is opgebouwd en de manier waarop de atomen zijn gebonden.

We verdelen vaste stoffen globaal in drie categorieën: metalen, isolatoren en halfgeleiders. In een **metaal** zijn de energiebanden breed. Ze overlappen elkaar, zodat er geen verboden zone is tussen de valentie- en de geleidingsband. Er is maar een klein beetje extra energie nodig om een elektron naar

een vrij niveau te laten springen. De elektronen bewegen daardoor erg gemakkelijk door de stof. Metalen zijn dan ook goede elektrische geleiders.

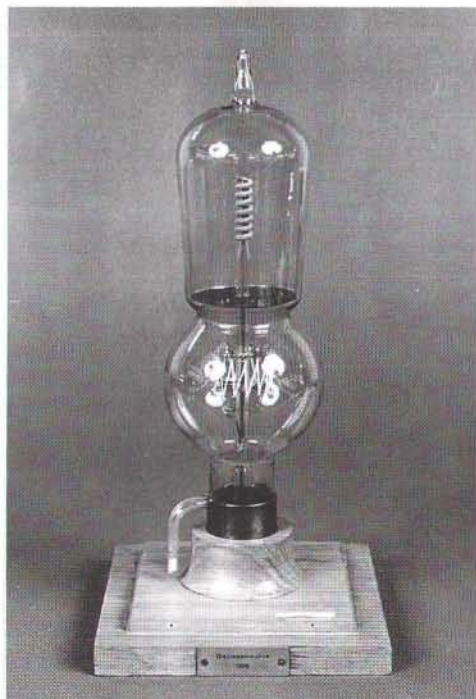
In een **isolator** is de verboden zone tussen de valentie- en de geleidingsband breed. Het is vrijwel onmogelijk voor een elektron om zoveel extra energie te krijgen dat het naar de geleidingsband kan springen. Alle banden vanaf de valen-

tieband naar beneden zijn vrijwel vol en de banden erboven bijna leeg. Dit betekent dat een isolator vrijwel geen vrije elektronen bevat en niet goed geleidt.

Als we een isolator verwarmen, voegen we er energie aan toe. Dit verhoogt de kans dat een elektron voldoende energie heeft om te springen naar de geleidingsband waar het vrij kan bewegen. In principe kunnen we een isolator net zo lang verwarmen totdat hij een vrij goede geleider is. In de praktijk is de benodigde temperatuur echter meestal zo hoog dat de vaste stof voor het zover is, zal smelten, verdampen of zelfs verbranden.

Halfgeleiders zijn materialen die een verboden zone met een middelmatige breedte hebben. Bij kamertemperatuur is er voldoende extra energie in het kristalrooster aanwezig om een bescheiden aantal elektronen over de verboden zone naar de geleidingsband te laten springen, waar ze vrij kunnen bewegen. Het elektrisch geleidingsvermogen van halfgeleiders ligt dan ook tussen dat van een metaal en dat van een isolator. De meeste transistoren zijn gemaakt van materialen die een vrij dikke verboden zone hebben. Op zich zijn die

Nog geen eeuw geleden kwamen de eerste elektronenbuizen op de markt. Deze Von Lieben-buis uit 1908 was in gebruik als telefoonversterker. (Collectie Werkgroep Geschiedenis der Elektrotechniek, TU Delft)



GEDOOPTE MATERIALEN, ELEKTRONEN EN GATEN

INTERMEZZO I

Doping is het toevoegen van een hoeveelheid atomen van een ander type aan het kristalrooster van een isolator. Hierdoor worden enkele energieniveaus aan het materiaal toegevoegd die liggen in de verboden zone tussen de valentie- en de geleidingsband.

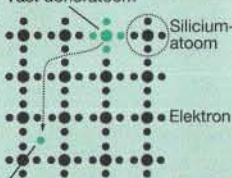
Als we enkele donoratomen toevoegen, zorgen deze voor extra energieniveaus vlak onder de onderkant van de geleidingsband. Deze atomen hebben een extra elektron dat niet sterk aan het atoom is gebonden. Aangezien de nieuwe energieniveaus dicht bij de geleidingsband liggen, springen deze extra elektronen gemakkelijk naar deze band toe. De elektronen die zo aan de geleidingsband worden toegevoegd, kunnen vrij bewegen en verhogen daardoor het elektrisch geleidingsvermogen van het materiaal.

We kunnen ook enkele acceptoratomen toevoegen. Dit soort atomen neemt graag elektronen op en zorgt voor extra energieniveaus vlak boven de bovenkant van de valentieband. Omdat de nieuwe energieniveaus net boven de valentieband liggen, zullen de acceptoratomen enkele elektronen uit deze band opnemen, waardoor gaten ontstaan.

De manier waarop de gaten zich door de valentieband bewegen is bijna net zo eenvoudig als de wijze waarop de elektronen in de geleidingsband bewegen. Als een atoom in een materiaal een elektron mist, kan dit gat vrij gemakkelijk worden opgevuld door een elektron van een nabij atoom. Hierdoor mist het

n-Type materiaal

Vast donoratoom



Extra elektron dat vrij kan bewegen

p-Type materiaal

Vast acceptoratoom



Positief gat beweegt door uitwisseling van elektronen

laatste atoom weer een elektron. Het gat is simpelweg van het ene atoom naar het andere verplaatst door de uitwisseling van een elektron. Bij de verplaatsing van een gat over een grotere afstand, moeten er dus een heleboel elektronen om de beurt verspringen.

We kunnen ons een gat voorstellen als een soort schuldbewijs dat het gemis van een elektron aangeeft. Dat schuldbewijs wordt van atoom naar atoom doorgegeven. In een normaal atoom is de negatieve lading van de elektronen in evenwicht met de positieve lading van de kern. Een atoom dat een elektron mist, is dus positief geladen. Door de toevoeging van acceptoratomen, blijkt een verzameling positief geladen gaten te ontstaan die kunnen bewegen en daarmee bijdragen aan het geleidingsvermogen van het materiaal.

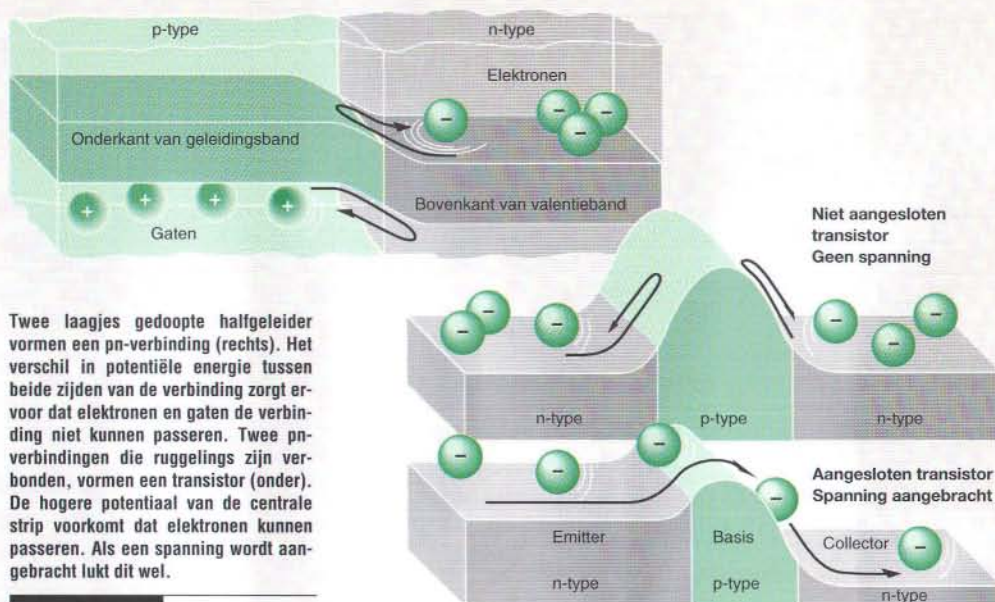
materialen vrij goede isolatoren. We veranderen ze in halfgeleiders, door er een klein aantal nieuwe atomen van een ander type aan toe te voegen. Zo kunnen we een aantal atomen in een halfgeleiderkristal zoals silicium, vervangen door een ander atoom, zoals indium of fosfor. De toevoeging van enkele andere atomen om het gedrag van een materiaal te veranderen, heet **doping**. Een materiaal waaraan enkele andere atomen zijn toegevoegd, noemen we gedoopt.

Doping van isolatoren

Betere geleiding

Er zijn twee typen doping. Bij het eerste type worden zogenaamde donoratomen aan het materiaal toegevoegd. Deze atomen leveren extra elektronen die veel gemakkelijker naar de geleidingsband kunnen springen dan de elektronen in de valentieband van het materiaal. Bij het tweede type worden zogenaamde acceptoratomen toegevoegd

aan het materiaal. Dat zijn atomen die een elektron te weinig hebben en daardoor elektronen uit de valentieband van de omringende atomen binden. Hierdoor ontstaan in deze band gaten die zich gedragen als positief geladen deeltjes die door de valentieband bewegen. In werkelijkheid zijn het elektronen die om de beurt een gat opvullen en daarbij een gat achterlaten. Zij zijn verantwoordelijk voor de schijnbare beweging van positieve gaten in de tegen-gestelde richting.



Twee laagjes gedoopte halfgeleider vormen een pn-verbinding (rechts). Het verschil in potentiële energie tussen beide zijden van de verbinding zorgt ervoor dat elektronen en gaten de verbinding niet kunnen passeren. Twee pn-verbindingen die ruggelings zijn verbonden, vormen een transistor (onder). De hogere potentiaal van de centrale strip voorkomt dat elektronen kunnen passeren. Als een spanning wordt aangebracht lukt dit wel.

De stroom in een halfgeleider kan het gevolg zijn van de beweging van elektronen en van de schijnbeweging van gaten. Halfgeleiders waarin donoratomen extra vrije elektronen leveren, worden **n-type**-halfgeleiders genoemd, omdat de bewegende ladingen negatief zijn. Bij toevoeging van acceptoratomen ontstaat een **p-type**-halfgeleider, omdat het lijkt alsof er positieve ladingen door het materiaal bewegen.

We kunnen nu nuttige toepassingen van halfgeleiders bedenken, waarin we materiaal van verschillend type hebben gecombineerd. De eenvoudigste combinatie is de koppeling van een laagje p-type-materiaal met een laagje n-type-, waardoor een zogenaamde **pn-verbinding** ontstaat.

In het n-type-materiaal zijn de donoratomen positief geladen, omdat elk van hen

een elektron is kwijt geraakt dat nu in de geleidingsband beweegt. Op gelijke wijze zijn acceptoratomen in het p-type-materiaal negatief geladen, omdat ze een elektron uit de valentieband hebben weggenomen.

Elektrische krachten tussen de kleine hoeveelheid tegengesteld geladen atomen in beide materialen verhinderen dat de meeste elektronen de pn-verbinding passeren. Als een elektron probeert om van het n-type-materiaal naar het p-type- te bewegen, stoten de negatieve acceptoratomen in het p-type-materiaal het af. Bovendien trekken de positieve donoratomen in het n-type-materiaal het elektron weer terug. Er moet arbeid worden verricht om de elektronen over de pn-verbinding te krijgen. De elektronen in het p-type materiaal hebben dus een hogere potentiële energie.

In bovenstaande afbeeldingen waarin we de energiebanden weergeven, komt de potentiële energie van een elektron overeen met zijn hoogte. Het verschil in potentiële energie tussen de



Bij dit prototype van een van de eerste transistoren, begin jaren vijftig uit de VS meegebracht, was duidelijk te zien hoe de halfgeleiders met elkaar en met de draadjes waren verbonden. (Collectie Werkgroep Geschiedenis der Elektrotechniek, TU Delft)

beide zijden van de pn-verbinding geven we weer door de valentie- en geleidingsband in het p-type-materiaal hoger te plaatsen dan in het n-type-materiaal.

Het is voorstelbaar in zo'n tekening, dat een elektron vaart mindert als het 'bergop' beweegt. Een gat daarentegen zal vaart minderen als het 'bergafwaarts' beweegt. Dit laatste komt omdat een gat een 'schuldbewijs' is voor een elektron, net zoals een luchtbel in een meertje een schuldbewijs is voor water. Als de luchtbel gevangen zit onder ijs, zal

hij automatisch naar het hoogst mogelijke punt bewegen. Het kost arbeid om de bel naar een dieper gelegen punt onder het ijs te verplaatsen.

We veranderen het hoogteverschil tussen de twee zijden van de verbinding als we een spanning tussen de twee laagjes materiaal aanbrengen. Als de spanning zodanig is dat het n-type-materiaal positiever wordt en het p-type- negatiever, dan neemt de kracht die voorkomt dat ladingen de verbinding passeren, toe – de helling voor de elektro-

nen wordt hoger. Er is meer energie nodig om de pn-verbinding te passeren, waardoor er nauwelijks stroom door de verbinding zal gaan.

Als de spanning echter zodanig is dat het p-type-materiaal minder negatief wordt en het n-type- minder positief, dan is er minder energie nodig en passeren ladingen de pn-verbinding vrij gemakkelijk. De pn-verbinding werkt dus als een diode, zij houdt stroom in de ene richting tegen en laat stroom in de andere richting door.

VELDEFFECT-TRANSISTOREN

INTERMEZZO II

Veel moderne transistoren werken op een totaal andere manier dan de bipolaire transistor. De meeste digitale apparaten, zoals computers en horloges, gebruiken **veldeffect-transistoren** (FET's). FET's zijn er, net als bipolaire transistoren, in allerlei soorten die echter wel op een vergelijkbare wijze werken.

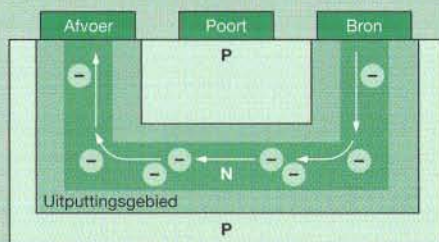
Een type FET wordt gemaakt door een kanaal van n-type-materiaal binnenin een stuk p-type materiaal te plaatsen. Als we een spanning aanbrengen tussen de uiteinden van het kanaal, zal dit een stroom opwekken. Om de stroom in stand te houden moeten we aan één kant nieuwe elektronen toevoegen en ze bij aankomst aan de andere kant weer verwijderen. Daarom wordt de ingang van het kanaal de **bron** genoemd en de uitgang de **afvoer**.

De stroom door het kanaal zal nauwelijks in het omliggende p-type-materiaal kunnen doordringen, dankzij de krachten die worden uitgeoefend door de geladen acceptor- en donoratomen. Als we nu een spanning aanbrengen op het omliggende p-type-materiaal (de zogenaamde **poort**) en zo de hoogte van zijn energiebanden vergroten, dan kunnen de elektronen in het n-type-kanaal niet eens meer in de buurt van de grens tussen n-type- en p-type-materiaal komen.

Er ontstaat bij de grens een zogenaamd uitputtingsgebied dat verstoken is van elektro-

nen. De elektronen worden gebundeld in het midden van het kanaal, zodat ze zich gedragen alsof het kanaal zich heeft versmald. Door de spanning op de poort te variëren, kunnen we de dikte van het uitputtingsgebied veranderen en daarmee regelen hoe groot de stroom is die door het kanaal gaat.

De bipolaire transistor heeft een basisstroom nodig om elektronen die in gaten vallen te kunnen vervangen. De FET heeft echter slechts een zeer kleine ingangsstroom nodig, omdat de twee typen ladingsdragers, elektronen in het kanaal en gaten in de poort, zijn gescheiden. Door de lage ingangsstroom is de FET zeer geschikt voor toepassingen die op batterij werken, zoals calculators en horloges. In apparaten zoals microcomputers verminderen ze, als vervangers van de bipolaire transistors, het energieverlies in de vorm van warmte aanzienlijk.



Bipolaire transistoren

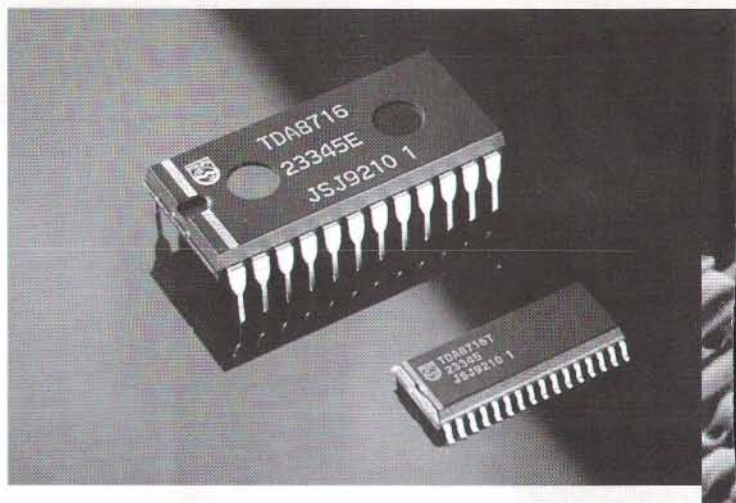
Halfgeleidersandwich

Om een eenvoudige transistor te maken, kunnen we drie laagjes halfgeleider verbinden tot een halfgeleidertriode, die zowel npn als pnp kan zijn. Beide typen halfgeleidertriode bevatten twee pn-verbindingen die samen een zogenaamde bipolaire transistor vormen. We zullen verder alleen de werking van de npn-transistor beschrijven. De werking van de pnp-transistor is echter precies hetzelfde, alleen stromen hier gaten in plaats van elektronen en hebben alle toegepaste spanningen een tegengesteld teken.

Sommige basiseigenschappen van deze transistoren kunnen we begrijpen als we de transistoren beschouwen als een paar dioden die ruggeelings zijn verbonden. Sommige elektronen zullen in de geleidingsbanden van de twee laagjes n-type-materiaal bewegen en sommige gaten zullen in de valentieband van het middelste laagje p-type-materiaal bewegen.

Het middelste laagje gedraagt zich als een heuvel tussen twee vlakke gebieden. De meeste elektronen hebben niet genoeg energie om over de top van de heuvel te komen. Het aantal dat wel voldoende energie heeft, is klein.

Als we een spanning aanbrengen tussen de twee uiteinden van de transistor, passen we daarmee de relatieve hoogten van de geleidingsbanden aan weerszijden van de centrale heuvel aan. We kunnen vervolgens



ook nog een spanning aanbrengen op het middelste laagje p-type-materiaal, zodat de hoogte van de heuvel afneemt. Hierdoor hebben de elektronen minder energie nodig om de heuvel te beklimmen en kunnen ze veel gemakkelijker van de negatieve kant van de transistor naar de positieve bewegen.

Omdat de spanning tussen de twee laagjes n-type-materiaal gewoonlijk veel hoger is dan de spanning op het middelste laagje p-type-, kunnen er vrijwel geen elektronen in tegengestelde richting stromen, van de positieve kant naar het p-type-materiaal.

In een npn-transistor wordt de positieve kant de collector genoemd, omdat de elektronen zich aan deze kant verzamelen. De negatieve kant heet de emitter omdat deze kant elektronen emitteert (uitzendt) in het p-type materiaal. Het middelste laagje p-type-materiaal noemt men de basis.

Als spanningen op deze wijze worden toegepast,

zullen vrij veel elektronen van de emitter, via de basis, naar de collector stromen en zo een vrij grote elektrische stroom produceren. Om deze stroom in stand te houden, moeten we natuurlijk wel elektronen uit de collector blijven verwijderen en nieuwe elektronen aan de emitter blijven toevoegen. Met andere woorden, er moet een stroombron zijn die met draden is verbonden aan de emitter en de collector.

Stroomregulatie

Versterker en schakelaar

De sterkte van de stroom door de transistor kan eenvoudig worden geregeld door kleine wijzigingen in de spanning tussen de emitter en de basis. Hierdoor verandert de hoogte van de heuvel die de elektronen moeten passeren om van emitter naar collector te komen. Een klein percentage elektronen zal op hun weg door

Tegenwoordig vinden we de meeste transistoren terug op chips, die zijn verborgen in zwarte doosjes met twee rijen pootjes. Duizenden transistoren kunnen op een klein oppervlak worden aangebracht. (Foto: CME, Enschede (links) en IBM (rechts)).



de basis een atoom tegenkomen dat een elektron mist (een acceptoratoom) en zo een gat opvullen. Op deze manier verzamelt de basis meer elektronen dan waar hij aanvankelijk over beschikte. De basis krijgt een negatieve lading en de elektronen kunnen steeds moeilijker passeren. Om dit te voorkomen moeten we een spanning aanbrengen tussen de basis en de emitter. Hierdoor verwijderen we de extra elektronen uit de basis en geven we ze weer terug aan de emitter. De resulterende stroom noemen we de basisstroom.

In een typische bipolaire transistor wordt slechts ongeveer een procent van de elektronen die de emitter verlaten, gevangen door een gat in de basis. De benodigde basisstroom om de zaak aan de gang te houden, is dan ook circa honderdmaal zwakker dan de stroom die door de collector gaat.

Elektrotechnici gebruiken bipolaire transistoren vaak om stroom te versterken. Een laag ingangssignaal aan

de basis, in de vorm van een wisselstroom, produceert een collectorstroom die in fase met het ingangssignaal wisselt en circa honderdmaal sterker is. We zeggen dat de **stroomversterkingsfactor** van de transistor gelijk is aan 100.

In elektronische apparatuur dienen transistoren vaak als schakelaars. Als we geen spanning aanbrengen tussen de basis en de emitter, zullen er zeer weinig elektronen van de emitter naar de collector kunnen bewegen. De transistor gedraagt zich als een schakelaar die 'open' staat en laat nauwelijks stroom door.

Als we daarentegen een hoge spanning aanbrengen tussen de emitter en de basis, kunnen we hun energieniveaus vrijwel gelijk maken. De elektronen hoeven dan niet meer 'bergop' te bewegen en kunnen ongehinderd naar de collector stromen. De schakelaar is nu 'gesloten'. Door nu de spanning tussen de emitter en de basis te wisselen tussen twee bepaalde waarden, kan de stroom snel aan en uit worden gezet en kan de transistor worden gebruikt om digitale signalen te produceren.

In de meeste moderne, elektronische apparatuur zien we enkele kleine zwarte plastic plaatjes, die elk een aantal metalen pootjes hebben. In elk van deze plaatjes zit een geïntegreerde schakeling die vele honderdduizenden transistoren bevat. Sommige van deze plaatjes bevatten transistorpatronen die zwakke, door een antenne opgevangen radiosignalen oppikken, versterken en omvormen tot signalen die luidsprekers kunnen aansturen om muziek te spelen. Andere schakelingen stellen een televisiebeeld samen, verzamelen informatie in de vorm van miljoenen kleine bobbeltjes en deukjes op een compact-disc of regelen de programma's van een wasmachine.

In het algemeen wordt quantummechanica gepresenteerd als een thema dat ons oog in oog brengt met onzekerheid en een onontkoombare neiging van de natuur om zich onvoorspelbaar te gedragen. Toch stelt ons begrip van de quantummechanica ons in staat om transistoren te bouwen die zorgen voor de precisie van een digitaal horloge en de enorme capaciteit van moderne computers.

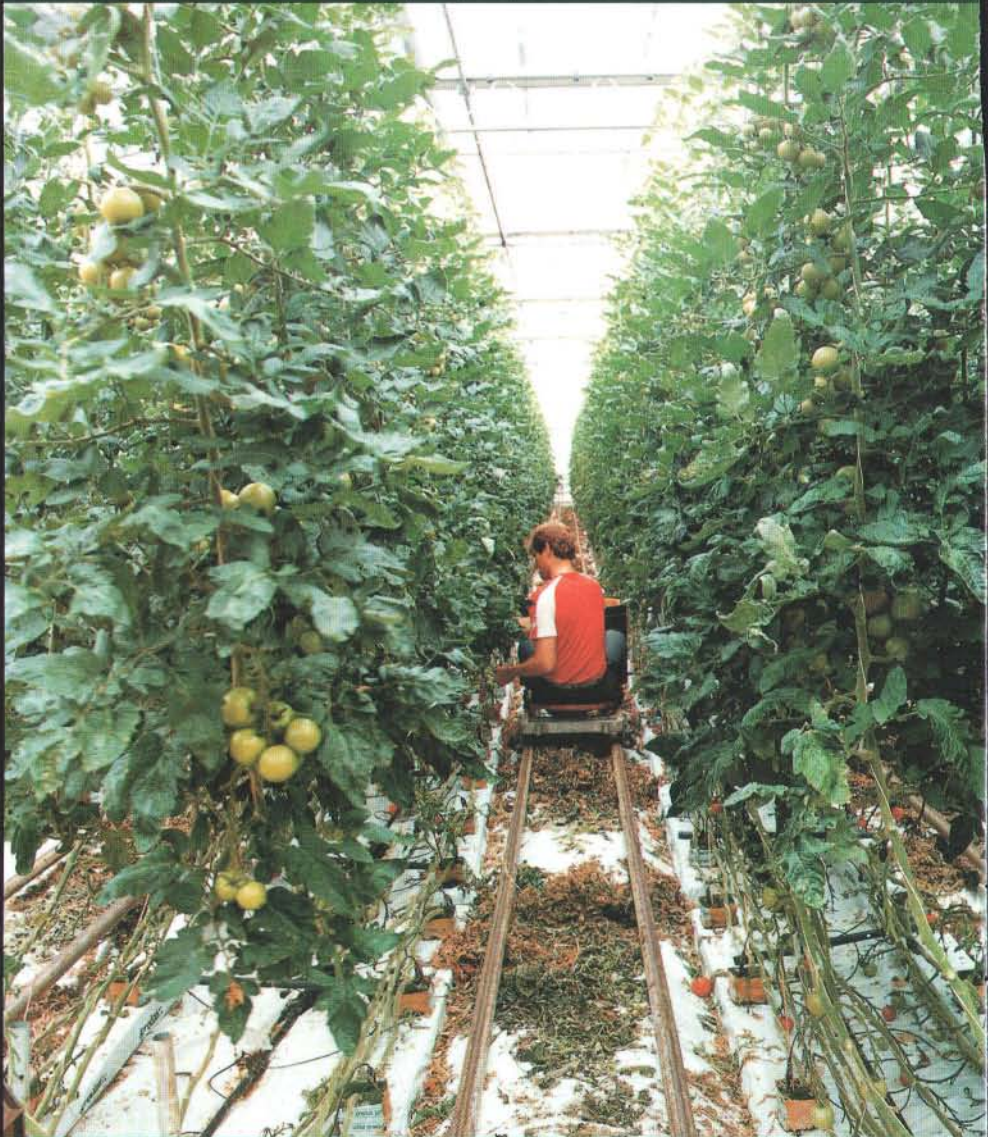
Dit artikel is voor Natuur & Techniek vertaald door
drs A. Sloomaker van de Open Universiteit te Heerlen.

Literatuur

Overstraeten R van. Verfiende chips
- Massaproduct en maatwerk.
Natuur & Techniek 1992; 60: 9,
676-687.
Masschelein J.C.J. Elektrische geleiding - geladen transport. Natuur & Techniek 1990; 58: 7, 612-623.

KIJK OP WETENSCHAP verschijnt zes maal per jaar, onder redactie van Natuur & Techniek, in samenwerking met New Scientist.
Voor het maken van kopieën is toestemming vereist van de Stichting Reprorecht (Postbus 882, 1180 AW Amsterdam, Tel. 0(0-31)20-5407496).

MOLEKULAIRE GEWASBESCHERMING



P.J.G.M. de Wit Vakgroep Fytopathologie, Landbouuniversiteit Wageningen



SCHIMMELGEN BEWAAKT TOMAAAT

Planten in de vrije natuur en gewassen in veld en kas staan voortdurend bloot aan schimmels, bacteriën en virussen die ziekten veroorzaken. Bovendien worden ze geteisterd door insecten en draadwormen. Ziekten en plagen kunnen jaarlijks tot wel dertig procent aan oogstverliezen veroorzaken. Planten bezitten een afweersysteem dat sterk afwijkt van dat bij dierlijke organismen. Ze verdedigen zich tegen ziekteverwekkers door op de plaats waar deze binnendringen een aantal cellen zeer snel te laten afsterven. Met die cellen gaat ook de ziekteverwekker te gronde. Dit artikel gaat over schimmels en bacteriën als veroorzakers van plantenziekten en de mechanismen waarmee planten zich tegen deze organismen verweren. Gewapend met die kennis kunnen biotechnologen het afweersysteem van cultuurgewassen verbeteren.

De schimmel die de tomatenbladviekenziekte veroorzaakt, groeit om de cellen in een tomatenblad. Het is slechts een van de vele ziekten die de oogst bedreigen. Ondanks de inzet van bestrijdingsmiddelen en biotechnologie valt jaarlijks zo'n dertig procent van de opbrengst in land- en tuinbouw ten prooi aan ziekten en plagen.



Het onderzoek naar chemische middelen ter preventie en bestrijding van ziekten heeft een lange historie. Omdat insecten reeds vroeg als beschadigers van planten bekend waren, werd hiertegen al vroeg naar een effectieve wijze van bestrijding gezocht. In de Verenigde Staten wordt de druifluis al sinds 1869 chemisch bestreden; de coloradokever sinds 1875.

Het duurde aanzienlijk langer voordat schimmels en bacteriën als ziekteverwekkers (plantenziektenkundigen spreken van *pathogenen*) werden onderkend. Pas toen het zover was, kon er gericht worden gezocht naar bestrijdingsmiddelen daartegen: fungiciden en bactericiden. Het eerste fungicide werd per toeval ontdekt. De Fransman Millardet wilde diefstal van zijn druiven voorkomen door ze aan de wijnstok van een 'giftige' groenblauwe kleur te voorzien. Hij besproeide de druiveranken met Bordeauxse pap, een mengsel van kopersulfaat en ongebluste kalk. De pap bleek niet alleen effectief tegen diefstal, maar ook tegen aantasting door de valse meeldauw van de druif. Waar het middel was aangebracht, werden de druiven niet aangetast. Bordeauxse pap vindt sinds 1885 toepassing bij schimmelbestrijding.

Het gebruik van fungiciden nam na de Tweede Wereldoorlog fors toe. De laatste decennia zijn zeer veel specifieke middelen op de markt gebracht die niet alleen preventief maar ook vaak genezend werken. Twintig jaar geleden leek het er nog op dat resistentie tegen fungiciden minder snel optrad dan resistentie tegen insecticiden. Met de introductie van middelen die slechts tegen een of enkele schimmels werken – meestal zijn die middelen minder milieubelastend – is ook snel resistentie tegen fungiciden opgetreden.

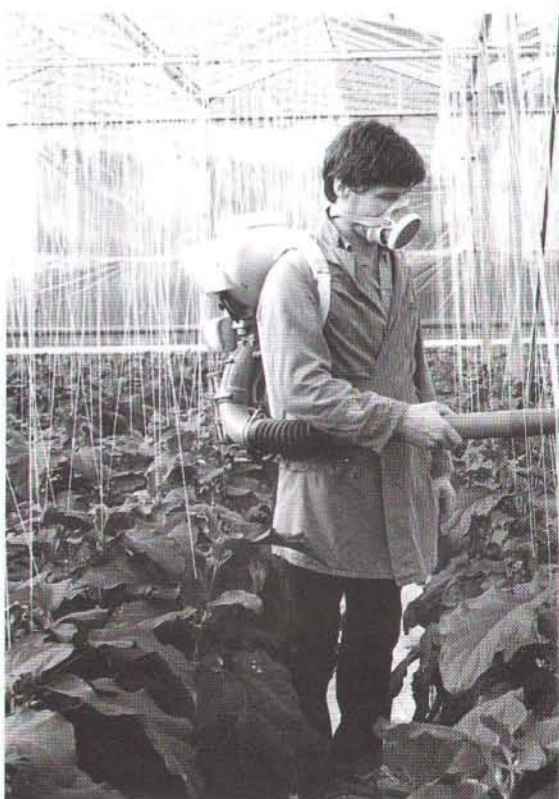
De toepassing van chemische bestrijdingsmiddelen in een tijd van toenemende zorg om het milieu, stelde aanvankelijk vooral het gebruik van insecticiden in een kwaad daglicht. Later viel zeer veel bestrijdingsmiddelen, inclusief fungiciden, hetzelfde lot ten deel.

Resistentieveredeling

Reeds 372 jaar voor Christus beschreef Theophrastus dat planten van dezelfde soort vaak in verschillende mate waren aangetast door een bepaalde 'ziekte'. De Engelsman Knight bemerkte in 1795 dat enkele tarwehybriden

die hij via kruising had verkregen, veel minder aantasting door "blight" (vermoedelijk gele roest) vertoonden dan een deel van het uitgangsmateriaal. Kennelijk is het dus mogelijk planten op resistentie tegen een ziekteverwekker te selecteren, een teeltwijze die bekendstaat als resistentieveredeling. *Resistentieveredeling* kwam pas in opmars toen algemeen werd onderkend dat plantenziekten door schimmels, bacteriën en virussen kunnen worden veroorzaakt.

In het begin van onze eeuw drong het besef door dat resistentie gehoorzaamt aan de erfelijkheidswetten en dus op nakomelingen kan worden overgebracht. Toen ging het snel, dankzij de beschikbare theorie en de grote voordelen van de methode. Resistentie vererft rechttoe rechtaan en kan via kruising eenvoudig aan een plant, en aan al haar nakomelingen, worden doorgegeven. De bescherming hoeft daarna niet steeds, zoals een bestrijdingsmiddel, opnieuw te worden toegediend.



Helaas zijn ziekteverwekkers niet voor een gat te vangen. Snel werd duidelijk dat varianten van pathogenen de resistentie in planten kunnen doorbreken. Die varianten staan bekend als *fysiologische rassen*, gemakshalve afgekort tot *fysio's*. Fysio's zijn gespecialiseerde ziekteverwekkers die bepaalde variëteiten van land- en tuinbouwgewassen kunnen aantasten.

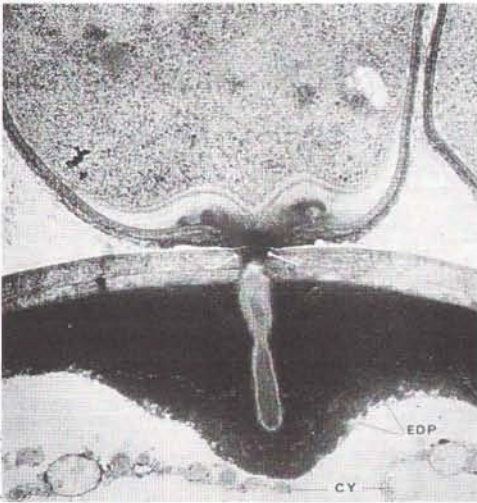
Zoals weldra duidelijk zal worden, is hun specialisatie gebaseerd op het vermijden of omzeilen van de natuurlijke afweerreacties bij planten. Daardoor kunnen ze de plant ongestoord aantasten. Ondanks het bestaan van fysio's is resistentieveredeling een zeer belangrijk, zo niet het belangrijkste, wapen bij de preventie en bestrijding van ziekten.

Het afweersysteem

Planten bezitten een afweersysteem dat sterk afwijkt van dat bij dierlijke organismen. Resistente planten verdedigen zich tegen pathogenen door op de plaats waar die binnendringen een aantal cellen zeer snel te laten afsterven. Met de plantecellen gaat ook het pathogeen te gronde. Dit mechanisme, dat dadelijk meer in detail aan de orde komt, wordt de *overgevoelighedsreactie* genoemd. De overgevoelighedsreactie is een van de meest voorkomende en efficiënte afweersystemen die in planten werkzaam zijn tegen ziekteverwekkers zoals virussen, bacteriën, schimmels en draadwormen. Afbeelding 3 geeft de reactie schematisch weer.

Schimmels en bacteriën verspreiden na het binnendringen allerlei stoffen in de plant. Stoffen waarvan de plant de aanwezigheid signaleert en waarop zij reageert met een overgevoelighedsreactie, noemen we *signaalstoffen*. Planten herkennen niet alle belagers. Pathogenen die geen herkenbare stoffen (meer) produceren kunnen voorkomen dat de overgevoelighedsreactie op gang komt.

Tijdens of direct na de overgevoelighedsreactie maakt de plant rondom de plaats van infectie verbindingen aan die schimmels en bacteriën doden. De afgestorven cellen rond de plaats waar het pathogeen is binnengedrongen, hoeven dan ook niet per se zelf verantwoordelijk te zijn voor groeiremming van het pathogeen. Ze dienen vaak als een reservoir voor schimmel- en bacteriedodende stoffen. In de levende cellen eromheen treden vaak celwandverdichtingen op doordat er stoffen als callose en lignine worden afgezet (afb. 1). Ook hopen zich vaak enzymen op die de bouwstenen van schimmelcelwanden, onder andere chitine en glucanen, kunnen afbreken. De overgevoelighedsreactie kan aldus worden gezien als de eerste respons waarop een reeks andere afweerreacties volgt (afb. 4).



1

1. Een schimmeldraad tracht op deze transmissie-elektronenmicroscopische opname een plant binnen te dringen. De plant reageert daarop met de afzetting van ondoordringbaar extracellulair materiaal (EDP).

2. Ondanks verwoede, en veelbelovende, pogingen zijn biotechnologen er nog lang niet in geslaagd cultuurgewassen resistent te maken tegen elke denkbare belager. Voorlopig zijn er nog chemische bestrijdingsmiddelen nodig in land- en tuinbouw.



Enkele ziekteverwekkers

Voorbeelden van de vele plantenziekten die in onze streken voorkomen en door schimmels worden veroorzaakt zijn de wereldberuchte aardappelziekte en de iepenziekte. De aardappelziekte wordt veroorzaakt door *Phytophthora infestans*, een pathogeen uit Centraal-Amerika dat in West-Europa pas enkele eeuwen na de komst van de aardappel de kop opstak. De schimmel veroorzaakte in 1845 in West-Europa zo'n grote epidemie dat op vele plaatsen hongersnood uitbrak. Dat een schimmel de ziekte veroorzaakt werd pas dertig jaar later duidelijk. De ziekte vormt nog steeds een groot probleem in de aardappelteelt. Slechts grote hoeveelheden gewasbeschermingsmiddelen kunnen de schimmel afdoende bestrijden.

De iepenziekte is een ander voorbeeld van een schimmelziekte. De ziekte heeft in het buitenland de naam *Dutch elm disease* gekregen, aangezien de symptomen van de ziekte voor het eerst in Nederland werden beschreven. Sinds 1922 weten we dat *Ophiostoma ulmi* de ziekteverwekker is. De schimmel, die wordt verspreidt door de iepespintkever, heeft het iepbestand in West-Europa zeer sterk gereduceerd en vormt tegenwoordig nog steeds een groot probleem. Plantenziektenkundigen zoeken naarstig naar methoden om de nog steeds om zich heen grijpende ziekte te bestrijden. Biologische bestrijding van de schimmel en vooral resistentieveredeling moeten de iep van de ondergang redden.

Kroongal of wortelknobbelziekte wordt veroorzaakt door de bacterie *Agrobacterium tumefaciens*. De ziekte is in België en Nederland van ondergeschikt belang in vergelijking met de zojuist genoemde schimmelziekten. Er is in het onderzoek evenwel veel aandacht aan deze ziekte besteed. De bacterie beschikt namelijk over het unieke vermogen om op zeer efficiënte wijze een deel van zijn DNA – het zogenaamde *transfer-DNA* – over te brengen naar de chromosomen van vooral tweezaadlobbige planten. Dat is een eigenschap waar biotechnologen van wettanden. Diepgaand onderzoek aan de bacterie heeft ertoe geleid dat dit pathogeen inmiddels kan worden omgebouwd tot een nuttig organisme, waarmee biotechnologen allerlei genen naar cultuurplanten kunnen overbrengen. Deze techniek vindt veel toepassing in de moderne gewasbescherming en resistentieveredeling.

Dit is slechts een greep uit de algemeen bekende plantepathogene schimmels en bacteriën.



I-1

I-3. De iepenziekte wordt veroorzaakt door de schimmel *Ophiostoma ulmi*, waarvan we hier de vruchtlichamen zien. Deze vruchtlichamen komen

veelvuldig voor in de broedgangen die iepespintkevers onder de bast van dode en zieke iepen graven. De kevers verspreiden de ziekte.

Wereldwijd zijn er duizenden plantepathogenen bekend, waarvan er in Nederland en België enkele honderden voorkomen. Om de voedselproductie voor de snel groeiende wereldbevolking op peil te houden wordt het steeds belangrijker om de bestrijding van deze ziekteverwekkers grondig aan te pakken en zo de schade aan gewassen tot een minimum te beperken.

INTERMEZZO I

Gen-om-gen-interacties

I-1 en I-2. De schimmel *Phytophthora infestans* veroorzaakt de aardappelziekte. Wanneer deze veelvoorkomende ziekte uitbreekt, kan de aardappeloogst mislukken, getuige een proefveld in Mexico. De vatbare aardappelvariëteit vooraan is omgeven door resistente variëteiten.

Gebaseerd op kennis die de laatste jaren is vergaard over signaalstoffen en de afweerreacties daarop, zijn nieuwe bestrijdingswijzen van pathogenen binnen handbereik gekomen. In dit artikel passeren enkele biotechnologische strategieën die in de moderne gewasbescherming worden toegepast, de revue.

Dankzij de inspanningen van biochemici en



I-2



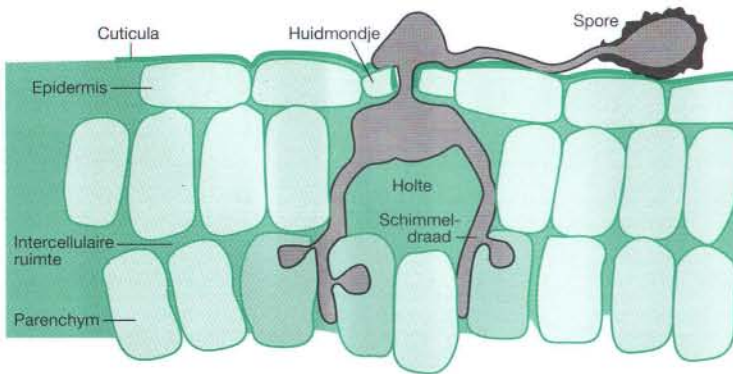
3

molekulaire biologen zijn inmiddels enkele genen die coderen voor signaalstoffen geïsoleerd; de genen die coderen voor resistentie zullen binnenkort volgen. Bij het op gang komen van de overgevoeligheidsreactie spelen telkens twee groepen genen een cruciale rol. Een van beide groepen, de *avirulentiegenen*, behoort tot het erfelijke materiaal van het pathogeen. (Virulent betekent ziekteverwekkend; avirulent is niet-ziekteverwekkend, doch resistentie-opwekkend.) Avirulentiegenen coderen voor signaalstoffen. Verschillende avirulente fysio's produceren verschillende signaalstoffen, die ook wel *fysio-specifieke elicitoren* worden genoemd. De signaalstoffen brengen de overgevoeligheidsreactie alleen teweeg bij gewasvariëteiten die een passend gen bezitten

uit de andere groep, de *resistentiegenen*. Slechts een gewas met het juiste resistentiegen kan een bepaalde signaalstof herkennen. De wisselwerking tussen een avirulentiegen van de schimmel en het daarbij passende (complementaire) resistentiegen bij de plant wordt ook wel *gen-om-gen-interactie* genoemd.

Het pathogeen beschikt evenwel over enkele trucs om aan het afweersysteem van de plant te ontkomen. Zo kan het zijn avirulentiegenen kwijsmaken en dus geen signaalstoffen meer maken, of die genen zodanig aanpassen dat de stoffen door het afweersysteem van de

3 en 4. De overgevoelheidsreactie in schema. Een schimmeldraad gevormd die door een huidmondje het blad is binnengedrongen. Eenmaal binnen tracht de schimmel zich toegang te verschaffen tot plantecellen om aan voedingsstoffen te komen, maar de resistente plant weet dat met een overgevoelheidsreactie te voorkomen. De aangetaste cellen sterven af en roepen in naburige cellen een cascade van volgreacties op.



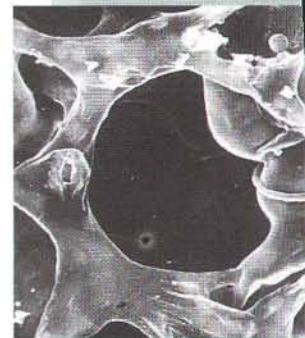
3

plant niet meer als signaalstoffen worden herkend. Het avirulente fysis is dan *virulent* geworden voor de plantevariëteit die aanvankelijk wel op de oorspronkelijke signaalstof kon reageren. In een dergelijk geval komt in de plant de resistentiereactie niet meer op gang. Men spreekt van *doorbraak* van resistentie. Het is echter misleidend om dit doorbraak te noemen. Dat betekent immers dat de overgevoelheidsreactie en alle daarop volgende reacties niet meer zouden functioneren. De resistentie is er nog wel, maar wordt niet meer opgewekt.

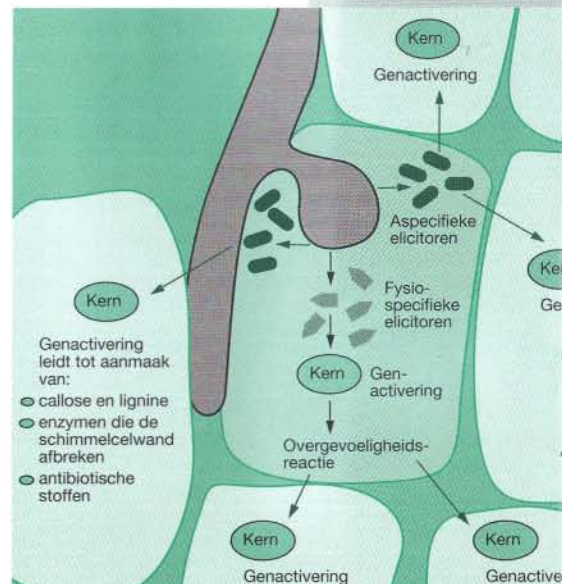
De gen-om-gen-interacties hebben geleid tot een wedloop om het bestaan tussen pathogeen- en plantesoorten. Het is duidelijk dat resistentie bij planten vergaande consequenties heeft voor de genetische samenstelling van de pathogeenpopulatie. Vele resistentiegenen, die in wilde verwanten van cultuurplanten veelvuldig voorkomen, zijn de laatste decennia via kruising naar teeltgewassen overgebracht. Ie-



5



6



4



5 t/m 8. Schimmeldraden van *Cladosporium fulvum* dringen via een huidmondje binnen in de bladeren van een tomaatplant. Eenmaal binnen gedijen de schimmeldraden uitstekend in de holten rondom de parenchymcellen. Uiteindelijk vult de schimmel de open ruimte tussen de cellen vrijwel helemaal op. Twee weken nadat de schimmel het tomaatblad is binnengedrongen, komen door de huidmondjes de sporendragers naar buiten die zorgen voor een nieuwe generatie van de schimmel. De schimmel veroorzaakt de bladvlekkenziekte van tomaat.



7



8

dere resistentieveredelaar weet dat de natuur daar meestal wel een antwoord op heeft. Hier geldt de uitdrukking: 'al is de veredelaar nog zo snel, het pathogeen achterhaalt hem wel'. Biochemisch en molekulaair onderzoek naar de achtergrond van de gen-om-gen-interactie wordt uitgevoerd met de gedachte dat ontrafeling van deze wisselwerking in de toekomst biotechnologische mogelijkheden kan bieden voor preventie en bestrijding van pathogene bacteriën en schimmels.

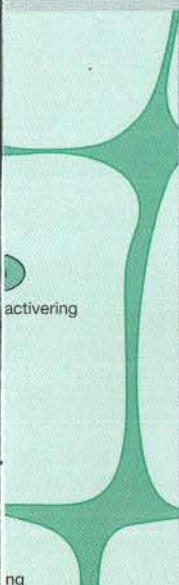
Schimmel en tomaat

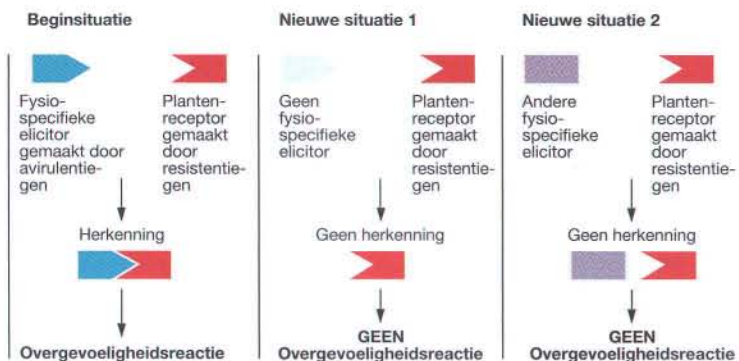
De schimmel *Cladosporium fulvum* dringt het blad van tomatenplanten via de huidmondjes binnen. Het pathogeen veroorzaakt bij zijn waardplant de bladvlekkenziekte. De relatie tussen deze schimmel en de tomaat staat bij de vakgroep Fytopathologie van de Landbouwuniversiteit in Wageningen al meer dan tien jaar model voor gen-om-gen-interacties.

Van de schimmel zijn één avirulentiegenen en zijn bijbehorend produkt biochemisch en molekulaair volledig gekarakteriseerd (afb. 10). Het betreffende avirulentiegen is *avr9* en het complementaire resistentiegen bij de tomaat is *Cf9*. In afbeelding 9 is de interactie tussen het avirulentiegen *avr9* en het resistentiegen *Cf9* schematisch weergegeven. Een avirulent fysio kan de overgevoeligheidsreactie vermijden door de *avr9*-signaalstof niet meer te produceren. Er zijn fysio's gevonden die het gen *avr9* volledig missen en dus virulent zijn op tomaatplanten met het *Cf9*-resistentiegen. Dit is de meest rigoureuze manier om herkenning door planten met het *Cf9*-gen te voorkomen.

Bij andere fysio's van de schimmel is gevonden dat de avirulentiegenen door kleine mutaties zodanig zijn veranderd, dat het resistentiegen hun produkten niet meer herkent. Ook kan een zogenaamd *transposon*, een 'springend gen', in een avirulentiegen terechtkomen. Het avirulentiegen wordt daardoor geïnactiveerd.

Nu men weet dat avirulentiegenen en hun produkten – signaalstoffen ofwel fysio-specifieke elicatoren – een belangrijke rol spelen bij de herkenning van een pathogeen en het opwekken van afweerreacties, kan men zeer gericht op zoek gaan naar praktische toepassingen van deze gegevens. Wanneer biotechnologen er – met behulp van hun molekulaair-biolo-





9. Schema van de interactie tussen fysio-specifieke elicitor en tomatereceptor die wel of niet tot een overgevoelighedsreactie leidt.

gische trukendoos – in slagen om de avirulentiegenen van de schimmel over te brengen naar planten met de bijbehorende resistentiegenen (afb. 14), krijgt de plant een middel in handen waarmee ze niet alleen een overgevoelighedsreactie tegen *Cladosporium fulvum* kan oproepen, maar ook tegen andere pathogenen. De plant kan nu immers zelf de signaalstof produceren die tot een overgevoelighedsreactie aanleiding geeft en onttrekt zo de schimmel de mogelijkheid om de reactie te omzeilen.

Het avirulentie-resistentiegenenpaar van de plant moet wel op het juiste moment en op de goede plaats worden aangezet. *Promoters* zijn regulerende delen van een gen die nodig zijn voor het in- of uitschakelen van het gen. De biotechnoloog moet dus nog een geschikte promotor bij het avirulentiegenen plaatsen. De promotors die de avirulentiegenen moeten gaan controleren, mogen slechts worden geactiveerd door pathogenen. De vraag is echter of zulke promotors in de natuur bestaan; we vermoeden van wel.

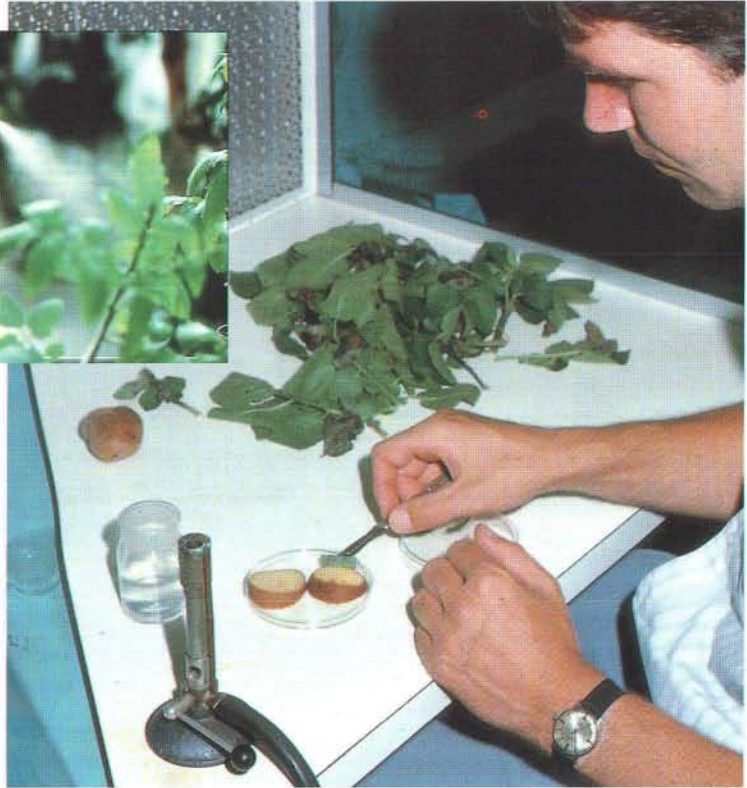
10 en 11. De basevolgorde van het avirulentiegen *avr9* van de schimmel *Cladosporium fulvum* is met behulp van moleculair-biologische technieken volledig opgehelderd. A, C, G en T zijn de vier nucleotiden. De verschillende onderdelen van het gen zijn onderin aangegeven.





12

12 en 13. Aan resistentie met behulp van genetische modificatie gaan vele jaren labwerk vooraf. Een planteziektenkundige bespuit tomatenplanten met schimmelsporen om de nieuwe resistentie te beproeven. Een andere biotechnoloog zet de veroorzaker van de aardappelziekte over op aardappelschijven.



13

De promotor van een ander mechanisme

Op zoek naar een geschikte promotor voor het avirulentiegen van de plant, is het zinvol om even een ander afweermecanisme onder de loep te nemen. Er komen in de natuur niet alleen specifieke, maar ook aspecifieke signaalstoffen voor. Dat blijkt onder meer uit proeven met aardappelplanten die beschikken over een resistentiegen tegen *Phytophthora infestans*, de schimmel die de aardappelziekte veroorzaakt. Wanneer zo'n aardappelknol eerst wordt behandeld met een avirulent fysis, blijkt dat die ook niet meer door een virulent fysis van de schimmel kan worden aangetast. Uit nader onderzoek bleek dat de aardappelschijf onder invloed van het avirulente fysis niet alleen een overgevoeligheidsreactie vertoont, maar ook stoffen produceert die verantwoordelijk zijn voor het achterwege blijven van aantasting door het virulente fysis. De aardappel is na de infectie beschermd tegen

zowel avirulente als virulente fysis's van de schimmel.

De schimmeldodende stoffen die de aardappel vormt, worden *fitoalexinen* genoemd. Ze komen bij zeer veel planten voor. In de jaren zeventig en tachtig werd naarstig gezocht naar de stoffen van bacteriën en schimmels die de aanmaak van deze fitoalexinen konden opwekken. Men vond zeer veel van dergelijke stoffen, die niet alleen de fitoalexine-productie stimuleren, maar ook andere afweermecanismen in gang kunnen zetten. Ze worden *aspecifieke elicitors* genoemd.

De aspecifieke elicitors worden door vele verschillende pathogenen geproduceerd en kunnen bij vele plantensoorten de fitoalexinenproductie stimuleren. Het zijn vaak oplosbare stoffen uit de celwand van de pathogenen. Het feit dat de plant op een groot aantal stoffen reageert, maakt dat de plant tegen zeer veel pathogenen een afweer kan opwerpen. De aspecifieke elicitors onderscheiden zich duidelijk

Andere resistentiestrategieën

Tijdens afweerreacties komen in planten enzymen vrij die de celwanden van vele schimmels kunnen afbreken. Vooral een combinatie van enzymen die glucanen en chitinen kunnen afbreken, blijkt de groeiende toppen van schimmeldraden effectief te kunnen vernietigen, althans bij bepaalde schimmels. De genen die coderen voor deze enzymen zijn inmiddels geklooneerd en kunnen worden overgebracht naar cultuurgewassen. Die maken nu continu beide enzymen aan en kunnen de schimmeldraden van binnendringende schimmels meteen afbreken. Met deze benadering is op kleine schaal reeds succes geboekt. Ook andere eiwitten blijken in proeven op laboratoriumschaal goede fungicide (schimmeldodende) en bactericide activiteit te bezitten. Zij worden nog niet toegepast in de praktijk.

Hoewel de afweer van planten tegen virussen en insecten enigszins buiten dit artikel valt, zijn enkele hoogtepunten uit de plantenbiotechnolo-

gische virus- en insectenbestrijding een vermelding waard. De voorbeelden worden hier gegeven omdat transgene planten die resistent zijn tegen virussen en/of insecten de eerste zijn die hun weg naar de praktijk van land- en tuinbouw zullen vinden.

Tegen de meeste RNA-virussen kan langs biotechnologische weg resistentie worden verkregen door de planten te transformeren met genen die coderen voor manteleiwitten van deze virussen. Het mechanisme berust waarschijnlijk op remming van de ontmanteling van het binnengedrongen virus. In Nederland wordt al een aantal jaren veldproeven gedaan met aardappelplanten die het manteleiwit van het aardappel-X-virus produceren. Een tweetal variëteiten van aardappel, die op deze manier resistent gemaakt zijn tegen het virus, zal binnenkort op de rassenlijst worden geplaatst.

Er zijn nog twee andere methoden waarlangs planten virus-resistentie kunnen verkrijgen. Hierbij worden genen die coderen voor defecte polymerasen of transporteiwitten voor het virus in de plant

van de fysio-specifieke elicitors, waarmee slechts één fysio van een bepaald pathoogeen de overgevoelighedsreactie oproept.

De genen die zijn betrokken bij de synthese van de fytoalexinen, worden vrijwel altijd aspecifiek geactiveerd. Bovendien zijn die genen in planten alleen plaatselijk actief. Fytoalexinen zijn ook giftig voor de plant zelf, zodat het belangrijk is dat ze zeer lokaal ophopen en zo de schade voor de plant tot een minimum beperken. Het is aannemelijk dat de promotors van de fytoalexinegenen de omvang van de afweerreactie beperken, doordat ze uitsluitend reageren op aspecifieke elicitors van buiten – en die bevinden zich alleen rond de plaats van infectie. Dankzij deze eigenschap zijn de promotors van de fytoalexinegenen precies de schakelaars waar biotechnologen nog naar zoeken.

Van specifieke naar algemene resistentie

Wanneer biotechnologen het avirulentie-resistentiegenenpaar onder controle brengen van de promotor van een fytoalexinegen, komt het avirulentiegen in actie zodra de plant het aspecifieke signaal van een willekeurig pathoogeen

14. Chromosoom I van een genetisch gemodificeerde tomatavariëteit bevat het avirulentiegen *avr9*, dat onder controle staat van een promotor die door aspecifieke elicitors wordt geactiveerd. Daarop produceert *avr9* een fysiospecifieke elicitor. Chromosoom II bevat het complementaire resistentiegen *Cf9*, dat codeert voor de receptor van de fysiospecifieke elicitor. Zodra de receptor deze elicitor herkent, barst de overgevoelighedsreactie los. Deze tomatavariëteit is resistent voor een breed scala pathogenen.



INTERMEZZO II

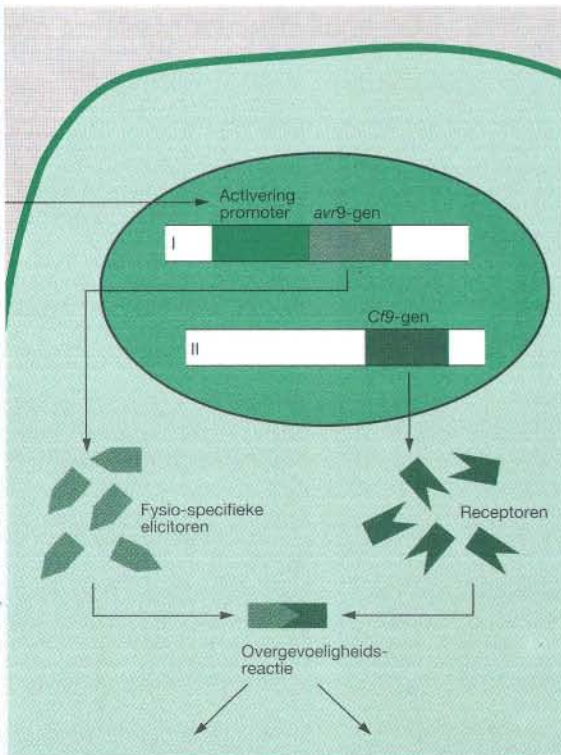
ingebouwd. Deze genen maken vervolgens defecte eiwitten die de vermenigvuldiging of het transport van het virus aanzienlijk kunnen remmen.

Een plantenbiotechnologische bestrijdingswijze van insecten die al in de praktijk wordt toegepast, mag hier niet onvermeld blijven. Vele insecten worden al jarenlang biologisch bestreden met preparaten van de bacterie *Bacillus thuringiensis*. De werkzame bestanddelen van deze preparaten bestaan uit eiwitten die insecticide werking bezitten tegen verschillende soorten insecten. Ze worden *Bacillus-thuringiensis*-toxinen of Bt-toxinen genoemd. Van deze Bt-toxinen is een aantal coderende genen gekloneerd. Resistentie is ook hier weer gebaseerd op de producten die deze genen in de planten maken. Momenteel zijn deze genen reeds naar vele verschillende soorten planten overgebracht, met als gevolg dat die inderdaad resistent zijn geworden tegen vele soorten insecten.

waarneemt. Via de specifieke signaalstof die de plant daarop zelf aanmaakt, komt vervolgens de overgevoelighedsreactie op gang.

Dankzij de huidige kennis omtrent de genom-gen-relatie is het mogelijk om de fyso-specifieke resistentie te wijzigen in een algemene resistentie tegen vele verschillende fyso's en zelfs tegen verschillende pathogenen. Hierbij maken biotechnologen gebruik van een avirulentiegen van de schimmel, dat ze inbouwen in het genoom van de plant die het bijpassende resistentiegen al bezit. Het avirulentiegen voorzien ze vervolgens van een promotor, zodat de overgevoelighedsreactie alleen daar op gang komt waar een pathogeen de plant probeert binnen te dringen. Promoters van plantegenen die bij de fytoalexinenproductie betrokken zijn, komen hiervoor in aanmerking. Ze opereren zeer plaatselijk en reageren op vrijwel alle pathogenen.

De overgevoelighedsreactie is de meest efficiënte en absolute vorm van natuurlijke resistentie bij planten. Wanneer biotechnologen de beschikking hebben over zowel een avirulentiegen als het bijpassende resistentiegen, kunnen zij een 'cassette' met beide genen naar elk gewenst gewas overbrengen. Dit betekent dat één bepaalde combinatie van avirulentiegen resistentiegen zeer breed inzetbaar is tegen vele pathogenen. Het is duidelijk dat zo de overgevoelighedsreactie met al zijn volgreacties, ten volle kan worden benut. Hierbij is het voor een indringer zeer moeilijk geworden om de overgevoelighedsreactie te omzeilen.



Literatuur

- Botterman JH. Genmanipulatie van planten - De constructie van resistente rassen. *Natuur & Techniek* 1989; 57: 5, 378-387.
- Lindhout P, Kramer T. Tomaten - Van massaselectie tot manipulatie. *Natuur & Techniek* 1990; 58: 5, 353-363.
- Mol J. Bloemkleurmanipulatie - Florissante technieken. *Natuur & Techniek* 1990; 58: 7, 540-551.
- Wit PJGM de. Mogelijkheden voor het verkrijgen van duurzame resistentie in planten tegen pathogenen via genetische modificatie met avirulentiegen. *Gewasbescherming* 1991; 22: 5/6, 141-146.
- Vloten-Doting L van. Delen en regelen - Biotechnologie van planten. *Natuur & Techniek* 1992; 60: 10, 754-765.

Bronvermelding illustraties

Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, Directie Voorlichting en Externe Betrekkingen, Den Haag: kleurenfoto op pag. 46-47, 2 en I-1.

I-3 uit: Heybroek HM, Eigersma DM, Scheffer RJ. De iepenziekte - Een ecologisch ongeluk. *Natuur & Techniek* 1981; 49: 8, 904-923.

De overige afbeeldingen zijn afkomstig van de auteur.

HERINNERING IN DE KOELKAST

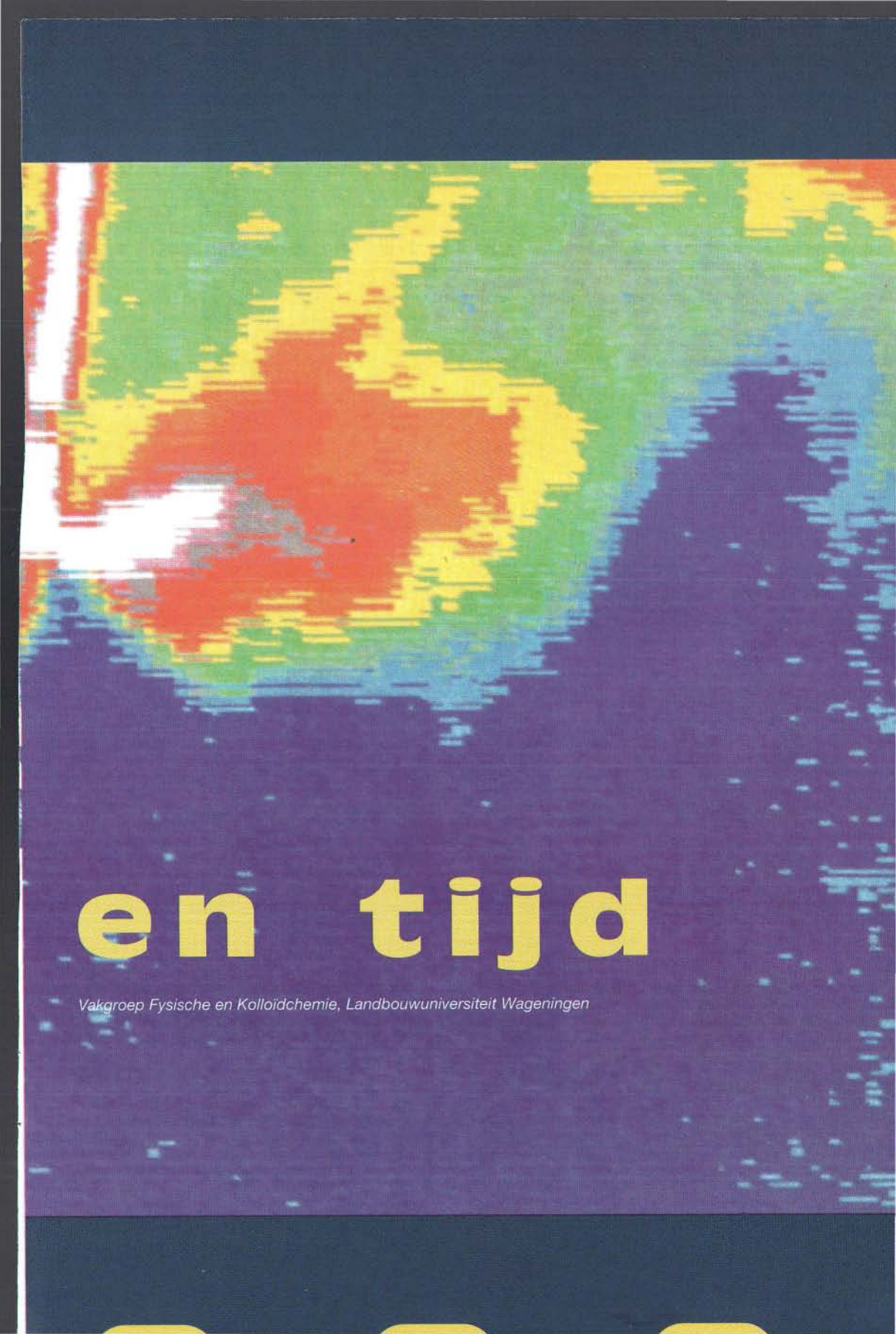
Natuurlijke processen gaan gepaard met een toename van de entropie van het heelal. Dit entropieprincipe bepaalt de richting waarin gebeurtenissen verlopen in de wereld die ons omringt. Entropie is niets anders dan het quotiënt van toegevoegde warmte en temperatuur. Het geeft een verandering in wanorde aan. Ook bij het vastleggen van onze herinneringen, dat een ordening binnenin onze hersenen is, speelt dit lastige begrip een rol en bepaalt het de manier waarop we het verstrijken van de tijd ervaren.

Entropie

In de infraroodopname is te zien, hoe een warme plas afvalwater wordt geloosd in de Rotterdamse haven. Terwijl het warme water afkoelt, warmt het koude water eromheen op. Warmtespreiding is een thermodynamisch proces waarbij de entropie toeneemt. Het omgekeerde proces, spontane scheiding van het havenwater in een koude en een warme plas, is onmogelijk. De richting waarin het proces verloopt, en daarmee de richting waarin de tijd verstrijkt, ligt vast.

Willem Norde





en tijd

Vakgroep Fysische en Kolloïdchemie, Landbouwniversiteit Wageningen

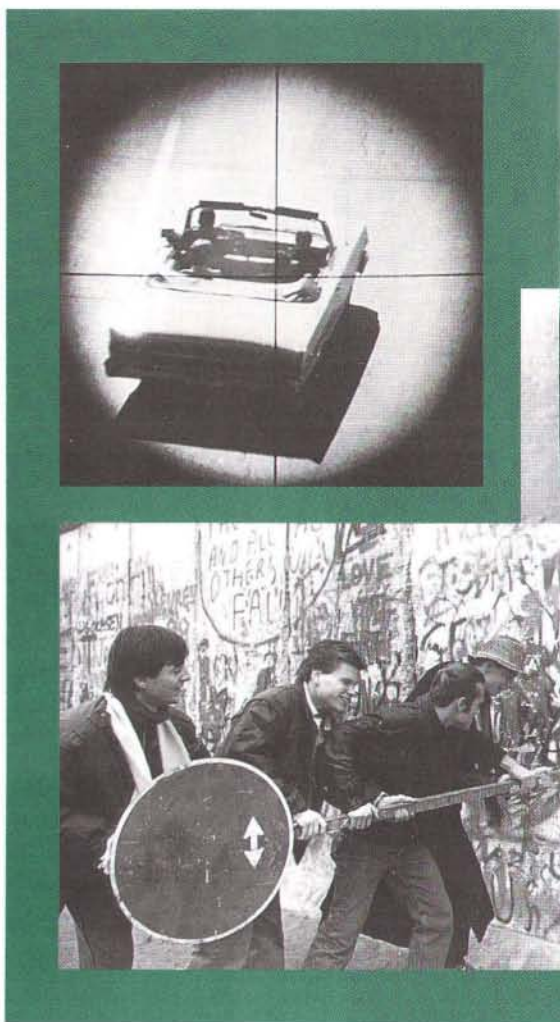
Wat is tijd? In Van Dale's *Groot Woordenboek der Nederlandse Taal* staat tijd omschreven als een zelfstandige en ononderbroken eenheid waarin gebeurtenissen en verschijnselen voortgaan en elkaar opvolgen. Dat tijd een zelfstandige eenheid wordt genoemd, suggereert dat hij absoluut is, dat wil zeggen dat die overal en voor iedereen dezelfde waarde heeft. Volgens Einsteins relativiteitstheorie is er echter niet zoiets als een absolute tijd, maar is tijd afhankelijk van degene die hem meet. Tijd is dus een subjectieve grootheid.

Ons besef van tijd is gebaseerd op de beleving van het voorbijgaan van de tijd. Die beleving is er bij de gratie van de herinnering. Het verinneren van gebeurtenissen en verschijnselen, zodat we ons die later kunnen herinneren, is een proces in onze hersenen. Deze processen volgen elkaar op in dezelfde volgorde als waarin die gebeurtenissen en verschijnselen optreden. Deze volgorde maakt dat de tijdsbeleving onomkeerbaar is: we kunnen ons het verleden herinneren, maar niet de toekomst!

Wat voor processen liggen ten grondslag aan het verinneren, dat wil zeggen de vorming van herinneringen? Deze processen zijn van chemische aard. Er ontstaan in de hersenen chemische verbindingen die worden gebruikt bij het opslaan van herinneringen (en die dus op hun beurt weer van invloed zijn op ons handelen in de toekomst). In principe zijn de processen die ten grondslag liggen aan de herinneringsvorming en daarmee aan de tijdsbeleving, niet ingewikkelder dan allerlei andere chemische processen die we om ons heen kunnen waarnemen. Onze waarnemingen en gedachten die leiden tot herinneringen, laten chemische afdrukken na in ons geheugen. Doordat er steeds meer informatie wordt opgeslagen, leidt dat tot een toenemende ingewikkeldheid, of beter gezegd, een toenemende mate van ordening.

De Tweede Hoofdwet

Een van de grootste ontdekkingen van de moderne wetenschap is de *Tweede Hoofdwet van de Thermodynamica*. Deze wet helpt ons enorm de wereld om ons heen beter te begrijpen. Ze geeft het verschil aan tussen een dynamisch (ofwel mechanisch) wereldbeeld en een *thermo*-dynamisch wereldbeeld. In de mecha-

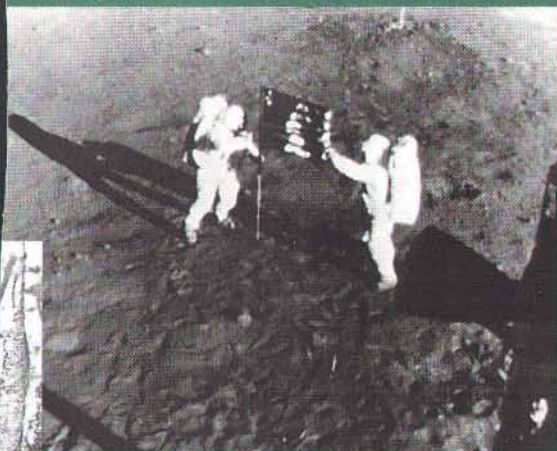


1

nische wereld – die wordt beschreven door de mechanica van Newton, de relativiteitstheorie van Einstein en de quantummechanica – is het uitsluitend de werking van krachten die gebeurtenissen bepaalt. Deze beschrijving van gebeurtenissen staat ook een verloop in omgekeerde richting toe. Zo kunnen volgens de wetten van Newton, die bijvoorbeeld de bewegingen van de planeten om de zon beschrijven en de quantummechanische wetten die de waarschijnlijke banen van elektronen rond atoomkernen aangeven, die gebeurtenissen net zo goed in een tegengestelde richting verlopen.

1. Bij het vastleggen van herinneringen in ons geheugen, ontstaat daar een zekere ordening. Enkele gebeurtenissen die we, in de volgorde waarin ze plaatsvonden, in ons geheugen hebben gegrift,

zijn de bevrijding, de carrière van Elvis Presley, de moord op John F. Kennedy, de eerste man op de maan, de ramp met de *Herald of Free Enterprise* en de val van de Berlijnse Muur.



In de thermodynamische wereld speelt naast krachten ook warmte een rol. Daardoor krijgt het verloop van gebeurtenissen een bepaalde richting mee, namelijk de enige mogelijke richting waarin een natuurlijk proces kan verlopen. De volgorde waarin de gebeurtenissen plaatsvinden – en dus de richting van de tijd –

ligt vast in het thermodynamische wereldbeeld. In het mechanische wereldbeeld is dat niet het geval.

Het feit dat in de natuur processen steeds een bepaalde kant opgaan (hetgeen wij ervaren als voortschrijdend in de tijd) ligt vervat in de Tweede Hoofdwet van de Thermodynamica. Deze wet of eigenlijk een axioma – een ervaringsfeit en niet strikt bewezen – is op verschillende manieren geformuleerd. Zo stelde Clausius (1822-1888), dat er geen proces mogelijk is met als *enig resultaat* de overgang van energie van een kouder naar een warmer object. Lord Kelvin (1824-1907) formuleerde

de Tweede Hoofdwet als volgt: "Er is geen enkel proces mogelijk dat *uitsluitend* bestaat uit het onttrekken van warmte aan een reservoir en het *volledig* omzetten daarvan in arbeid". De ervaringen van Clausius en Lord Kelvin kwamen beide voort uit hun studie naar de werking van de stoommachine.

In het leven van alledag kan iedereen opmerken dat er bij natuurlijke, spontaan verlopende processen verspreiding optreedt. Autobanden bijvoorbeeld slijten en verspreiden daarbij hun rubberdeeltjes over het wegdek. Het fosfaat uit wasmiddelen verspreidt zich via het afvalwater over oppervlaktewateren. Koper uit varkensvoer verspreidt zich via de mest in de bodem. In deze, en andere te bedenken voorbeelden, is het proces onomkeerbaar: de rubberdeeltjes zullen zich niet spontaan verzamelen en weer een autoband vormen, het fosfaat zal zich niet vanuit het oppervlaktewater weer in het pak wasmiddel ophopen en ook het koper zal niet vanzelf weer uit de bodem in het varkensvoer gaan. De Tweede Hoofdwet verwoordt de natuurlijke neiging van de 'dingen' om zich te verspreiden. We zullen dit wat nader bekijken aan de hand van de verspreiding van achtereenvolgens materie (deeltjes), warmte en samenhang. Daarbij zullen we zien dat de neiging tot verspreiding van deze drie 'dingen' op het zelfde principe berust.



2

2. Bij het uitrijden van mest vindt verspreiding van materie plaats. In sommige gevallen kan dit leiden tot ernstige bo-

demverontreiniging. Tijdens de verspreiding van stoffen in de bodem, neemt de wanorde, en dus de entropie, toe.

3. Het vergt een investering, maar door slim om te springen met materie en energie, spaart men kosten en het milieu. Sommige productieprocessen spelen zich af in een zuurstofvrije omgeving. De lucht verdringt men door vloeibaar stikstof (-170°C) te laten verdampen. In deze installatie gebruikt men daarbij, in plaats van de buitenlucht, het warme afvalgas. Terwijl het gas afkoelt, condensereren daaruit chemische oplosmiddelen zoals toluene.



3

Verspreiding van materie

Het is een bekend ervaringsfeit dat gasmoleculen zich verdelen over de gehele beschikbare ruimte. Deze verspreiding is een gericht proces, maar het is het resultaat van het ongerichte gedrag van elk afzonderlijk gasmolecuul. Deze moleculen botsen geheel onwillekeurig en ongericht met elkaar. Het omgekeerde proces, namelijk dat gasmoleculen spontaan een beperkt deel van de beschikbare ruimte innemen en hun bewegingsvrijheid daarmee beperken, is zeer onwaarschijnlijk. Zo'n ordening, ofwel regelmatige schikking, is op grond van het gedrag van de individuele moleculen niet onmogelijk. Het is echter zó onwaarschijnlijk dat het nog nimmer is waargenomen.

Verspreiding van warmte

Iedereen is het er over eens dat een warm voorwerp warmte afgeeft aan een koudere omgeving. Daarbij koelt het voorwerp af en stijgt de temperatuur van de omgeving. De deeltjes (atomen en moleculen) in het warme voorwerp hebben een sterkere beweging (trilling) dan de deeltjes in de koudere omgeving. Daar-



4. De cocktail *Stoplicht* smaakt in ordelijke en wanordelijke toestand even lekker. Bij de bereiding van de geordende versie, schenkt men 40 ml sinaasappelsap in een cocktailcoupe. Vervolgens schenkt men 20 ml

pisang ambon zeer voorzichtig langs de zijkant van het glas, zodat de groene likeur op de bodem terecht komt. Vervolgens legt men met een lepel 20 ml bessenjenever zachtjes bovenop de andere ingrediënten.



4

om is het voorwerp ook warmer. Deze beweeglijke deeltjes botsen aan het oppervlak van het voorwerp met de tragere deeltjes van de omgeving. Daarbij dragen ze een deel van hun beweging over. Het gevolg is dat de deeltjes in het voorwerp minder gaan bewegen en dat die in de omgeving juist meer gaan bewegen. Zo is er warmte overgedragen van een warme naar een koude plaats. Die warmteoverdracht gaat door totdat de bewegingsenergie van de deeltjes van het voorwerp en van de omgeving even groot is en het voorwerp en de omgeving dus dezelfde temperatuur hebben.

Het omgekeerde proces, stroming van warmte van een koude naar een warme plek, houdt in dat sterk trillende atomen zich spontaan afzonderen van zwakker trillende atomen. Dat zou een toenemende mate van ordening betekenen. Ook zo'n spontane ordening is nog nooit waargenomen.

Verspreiding van samenhang

Het is nog nooit vertoond dat een bal die op de grond ligt, spontaan omhoog beweegt onder opname van warmte uit de omgeving. Een dergelijke gebeurtenis zou betekenen dat ongerichte beweging van atomen (warmtebewe-

ging) spontaan overgaat in gerichte beweging van atomen. De omhoog bewegende bal is immers een verzameling van atomen die alle dezelfde kant op bewegen. Een gerichte beweging van de bal ontstaat pas als we die bal een trap verkopen. Dan neemt de bal de gerichte beweging van de voet en de schoen over.

De algemene ervaring is juist tegenovergesteld. De samenhangende, gerichte beweging van een vallende bal wordt bij botsing met de grond voor een deel omgezet in ongerichte beweging, namelijk de botsingswarmte. Elke keer wanneer de vallende bal op de grond stuijtert, zal een deel van de samenhangende beweging overgaan in onsamenhangende beweging. Dit gaat net zolang door, totdat de samenhangende beweging is uitgedoofd en de bal stil op de grond ligt.

Het omgekeerde proces, namelijk afname van onsamenhangende beweging van molekulen (afkoeling) ten gunste van samenhangende beweging van molekulen (een bewegend voorwerp of een in een bepaalde richting stromende vloeistof of gas), zou een toenemende mate van ordening (gerichtheid) betekenen. Het zal de lezer niet verbazen, dat ook een dergelijke toename van ordening zo onwaarschijnlijk is dat ze nog nooit is waargenomen.

De toekomst van het heelal

INTERMEZZO

Je kunt je afvragen of er ooit een einde komt aan de entropieproductie. Dat zou betekenen dat alle energie van het heelal is overgedragen in de vorm van warmte en er, diensgevolge, geen energie meer vrij is voor het verrichten van arbeid. Dit noemen we ook wel de warmtedood van het heelal. Alles zou met elkaar in evenwicht zijn, er zouden geen veranderingen meer plaats vinden... de tijd zou niet meer bestaan, althans, niet meer beleefd worden!

Een andere visie op de toekomst is dat, nadat de entropie een maximum heeft bereikt, er nog steeds spontaan gebeurtenissen plaatsvinden die gepaard gaan met entropieveranderingen. Dit kan dan alleen entropievermindering inhouden.

Er zou dan een nieuwe Tweede Hoofdwet moeten worden geformuleerd, zodanig dat ze aan geeft dat de natuurlijke richting waarin (gekoepelde) processen verlopen, gepaard gaat met toenemende orde in het universum. Het zou kunnen betekenen dat de gebeurtenissen dan verlopen in dezelfde volgorde, maar juist tegenovergesteld aan de volgorde waaraan we zijn gewend. De pijl van de tijd zou dan precies de andere kant op wijzen: onze toekomst zou in het verleden liggen! Beide scenario's, de warmtedood van het heelal en het teruggaan in de tijd, geven (voorlopig) nog aanleiding tot veel science-fiction. En dat is weer een heel ander verhaal.

Behalve dat een bal niet 'vanzelf' opstuitert, zal, om dezelfde redenen, een rivier niet bergopwaarts stromen onder opname van warmte uit de omgeving. Evenmin zal een schip een oceaan oversteken door gebruik te maken van de warmte die het onttrekt aan het omringende water. De ervaring dat dergelijke bewegingen niet mogelijk zijn, wordt samengevat in de bewering dat het onmogelijk is in een kringproces arbeid te verrichten zonder dat er warmte van een warme naar een koude plaats gaat.

De natuurlijke tendensen tot verspreiding van de dingen (materie, warmte, samenhang) hebben een gemeenschappelijke basis, namelijk een streven naar minder orde. Natuurlijk verlopende processen kenmerken zich dus door een stijgende wanorde. Dat wil zeggen dat de deeltjes van het universum zich op een toenemend aantal manieren kunnen rangschikken.

Wat heeft de Tweede Hoofdwet, de natuurlijke neiging van de dingen om zich te verspreiden, nu te maken met begrippen als 'tijdsbeleving' en 'geheugen'? Omdat de beleving van de tijd een natuurlijk, onomkeerbaar proces is (wat we ons herinneren, kunnen we niet meer ongedaan maken), moet het principe van de toenemende wanorde ook bij de vorming van herinneringen opgaan. Maar... het verinneren, dat wil zeggen het opslaan van informatie in de hersenen, leidt tot een toene-

mende ordening in de hersencellen. Aan de hand van enkele modelsystemen zullen we zien, hoe deze schijnbare tegenstelling wordt overbrugd. Maar eerst moeten we nog wat meer aandacht besteden aan de Tweede Hoofdwet en met name aan het begrip 'entropie' dat in deze wet centraal staat.



Entropie

De Eerste Hoofdwet van de Thermodynamica (ervaringsfeit) zegt dat de totale hoeveelheid energie in het universum onveranderlijk is. Het gevolg is dat als bij een proces de energie van een systeem afneemt, de energie van de omgeving met eenzelfde hoeveelheid toeneemt, en omgekeerd. Deze wet legt dus beperkingen op aan processen waarbij energie wordt uitgewisseld tussen systeem en omgeving – wat mogelijk is in de vorm van warmteoverdracht en in de vorm van arbeidsverrichting – maar ze zegt niets over de richting waarin een proces verloopt.

Zoals gezegd, bepaalt de Tweede Hoofdwet van de Thermodynamica de richting van een proces. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een grootheid die we entropie noemen. Het begrip *entropie* (afgeleid van de Griekse woorden *en* = 'in' en *trope* = 'verandering') is in het midden van de vorige eeuw door Clausius geïntroduceerd.

Het meest kenmerkende van entropie is dat ze zòdanig is gedefinieerd, dat de grootte ervan bij een natuurlijk verloopend proces altijd toeneemt. De definitie van entropieverandering luidt als volgt: Verandering van entropie is toegevoerde warmte gedeeld door de abso-

lute temperatuur (dit is altijd een positief getal) waarbij die warmteoverdracht plaatsvindt. In de definitie van de entropieverandering komt in de noemer de absolute temperatuur voor. Dit heeft tot gevolg dat bij een bepaalde warmtetoevoer aan een systeem de entropie bij een lagere temperatuur meer verandert dan bij een hogere temperatuur.

We hebben eerder gezien dat spontaan verloopende warmteoverdracht van een plaats van hoge temperatuur (warmteafvoer) naar een plaats van lage temperatuur (warmtetoevoer) gepaard gaat met toenemende wanorde. Deze toenemende mate van wanorde komt, krachtens de definitie van de entropie (warmteoverdracht gedeeld door een positief getal), overeen met een toename in de entropie.

Bij energieoverdracht in de vorm van arbeid (zoals bij een schop tegen een bal, waarbij de gerichte, samenhangende beweging van de voet met de schoen wordt omgezet in een gerichte samenhangende beweging van de bal) wordt er geen wanorde en dus ook geen entropie gecreëerd. Tenminste, als we de weinige, vrijkomende botsingswarmte verwaarlozen.

Dat het principe van toenemende entropie overeenkomt met de uitspraken van Clausius en Lord Kelvin, illustreren we aan de hand van de volgende modellen.



5. In deze aardgascentrale in Turkije bedraagt het rendement meer dan vijftig procent. Bij de elektriciteitsopwekking neemt

de entropie meer toe, dan hij kan afnemen tijdens de processen waarin de elektrische energie vervolgens wordt ingezet.

Afbeelding 6a toont de overdracht van warmte van een koud systeem naar een warme omgeving. Als warmte inderdaad in deze richting zou stromen, waarbij op de koude plek evenveel warmte verloren gaat als er op de warme plek terechtkomt, dan zou er in het koude systeem meer entropie verloren gaan dan dat er in de warme omgeving bijkomt. Per saldo zou de entropie dan afnemen. Hiermee is geïllustreerd dat, zoals Clausius in zijn formulering van de Tweede Hoofdwet heeft aangegeven (dat warmte niet stroomt van koud naar warm), entropie-afname in strijd is met de werkelijkheid.

In afbeelding 6b is een zelfde soort redenering in beeld gebracht, maar dan ten aanzien van de uitspraak van Lord Kelvin. De entropie van een systeem neemt af doordat er warmte aan wordt onttrokken. Een machine zet deze warmte volledig om in arbeid, dat wil zeggen dat er geen onsamenvangende beweging aan de omgeving wordt toegevoegd. Daarom neemt de entropie in de omgeving niet toe. Het netto resultaat is dus afname van de entropie. Hiermee is aangetoond dat, overeenkomstig het beginsel van Lord Kelvin (de onmogelijkheid om warmte zonder meer volledig in arbeid om te zetten), entropie-afname in strijd is met de werkelijkheid.

Zoals afbeelding 6c laat zien, is het wel mogelijk om warmte *ten dele* in arbeid om te zetten. Warmte wordt hier aan een warm systeem onttrokken, waardoor bijgevolg de entropie daalt. Indien al die warmte in de koude omgeving zou aankomen, dan neemt de entropie in de omgeving meer toe dan ze in het warme systeem afneemt. In feite hoeft er maar een deel van de warmte (energie-overdracht) in de omgeving aan te komen, voor een toename van de totale hoeveelheid entropie en daarmee een spontaan verloop van het proces. De rest van de energie-overdracht is dan bruikbaar voor het verrichten van arbeid. Dit voor arbeid beschikbare deel van de energie noemen we de vrije energie. Het hier beschreven principe geeft aan hoe een stoommachine werkt.

6. Warmte kan niet zonder meer worden verplaatst van een koude naar een warme omgeving (a). Evenmin kan warmte volledig in arbeid worden omgezet (b), maar een gedeeltelijke omzetting in arbeid is wel mogelijk (c).

7. De dom in Milaan kenmerkt zich door een hoge mate van ordening. Deze ordening is plaatselijk. Door de bouw van de kathedraal is de wanorde elders in het heelal aanzienlijk toegenomen.



7



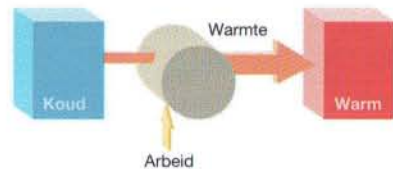
De constructieve macht van de chaos

Wanneer, volgens de Tweede Hoofdwet, elk natuurlijk verlopend proces leidt tot een afname van de ordening, hoe is het dan mogelijk dat er toch spontaan geordende structuren ontstaan? We kunnen daarbij denken aan de differentiatie van cellen tot speciale weefsels of zelfs tot complete organismen (morfogenese),

aan de bouw van een blokkentoren of een kathedraal en ook aan het vastleggen van informatie in geordende chemische structuren in de hersenen. Bij al deze activiteiten neemt immers de wanorde af. Het antwoord op de bovengestelde vraag is, dat de vermindering van de wanorde slechts plaatselijk is. Die vermindering wordt (meer dan) gecompenseerd door een toename van de entropie (wanorde) elders.



De morfogenese en ook de omzettingen in de hersenen bij het vormen van herinneringen zijn mogelijk dankzij de biologische stofwisseling, of beter gezegd, zijn gekoppeld aan de stofwisseling. Die stofwisseling leidt tot vergroting van de entropie. De verbrandingsproducten van de voedingsstoffen verspreiden zich in de omgeving en het organisme staat warmte af aan de koudere omgeving. Ook de bouwwerken, of het nu een blokkentoren of een kathedraal betreft, komen (ten dele) tot stand dank zij de stofwisseling die de menselijke spierarbeid mogelijk maakt. En als machines worden ingezet, dan neemt de entropie toe door de verspreiding van verbrandingsproducten en de afgifte van warmte door deze machines.



9

9. Een koelkast gebruikt energie, om een hoeveelheid warmte te verplaatsen van een koude naar een warme omgeving.



8. Deze staartklok geeft de tijd niet meer aan. Weer en wind hebben het metaal danig aangetast. Corrosie is eveneens een proces dat gepaard gaat met een toename van de entropie. Een corroderend metaal kan dus ook als een (onnauwkeurige) klok dienen.

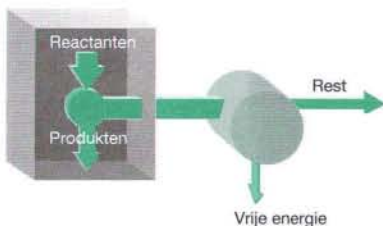
8

Een ander voorbeeld van een proces dat op het eerste gezicht lijkt te leiden tot een afname van de entropie, en dus tegennatuurlijk schijnt te zijn, is de werking van een koelkast (afb. 9). In de koelkast heerst een lage temperatuur, omdat de warmte uit de koelkast wordt afgevoerd naar een warmere omgeving. Dit zou, zoals uitgelegd bij afbeelding 6a, vermindering van entropie tot gevolg hebben. De warmtestroom van koud naar warm kan in werkelijkheid alleen maar in stand worden gehouden als er extra warmte aan deze stroom wordt toegevoegd. Er komt dan meer warmte in het warme deel aan dan dat er in het koude deel weggaat. Dit wordt gerealiseerd doordat een elektromotor arbeid, via het elektriciteitsnet geleverd door de centrale, omzet in warmte. Bij de levering van voor arbeid beschikbare

energie door de elektriciteitscentrale neemt daar de entropie toe, analoog aan het principe van de stoommachine zoals weergegeven in afbeelding 6c. Een proces zoals in een koelkast, kan dus slechts plaatsvinden als het is gekoppeld aan een ander proces. Daarbij geldt als voorwaarde dat de totale hoeveelheid entropie in het universum toeneemt.

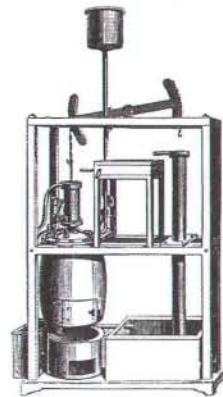
Een derde voorbeeld van ogenschijnlijk entropieverlies, treffen we aan bij dat type chemische reacties waarbij een zeker aantal reactanten een kleiner aantal produkten geeft. Een voorbeeld daarvan is de reactie van de vaste stof ijzer met het gas zuurstof tot het vaste ijzeroxide. Dit gebeurt als je auto staat te roesten en we weten maar al te goed dat dat spontaan gebeurt. Door binding van het zuurstofgas uit de atmosfeer aan het vaste ijzer nemen de verspreiding van de zuurstof, de wanorde en dus de entropie af.

Hoe kan het dat de auto dan toch spontaan roest? De reden is, dat bij het roestproces warmte vrijkomt die in de omgeving verdwijnt en daar de entropie doet toenemen. Een dergelijk proces is weergegeven in afbeelding 10. De hoeveelheid warmte die bij de chemische reactie aan de omgeving wordt afgestaan, kan, net als bij de stoommachine, groter zijn dan de warmteafgifte die nodig is om de reactie spontaan te laten verlopen. Het is daarom niet noodzakelijk dat alle uit het systeem vrijkomende energie als warmte aan de omgeving wordt overgedragen. Een deel, de vrije energie, kan worden gebruikt voor het verrichten van arbeid. We kunnen er bijvoorbeeld een koelkast op laten werken, maar we kunnen die energie net zo goed gebruiken voor de opbouw van gestructureerde molekulen die een meer geordende structuur hebben dan de bouwstenen waaruit ze zijn opgebouwd.



10

10. Warmte die bij een chemische reactie vrijkomt, kan voor een deel worden gebruikt om arbeid te verrichten.



11



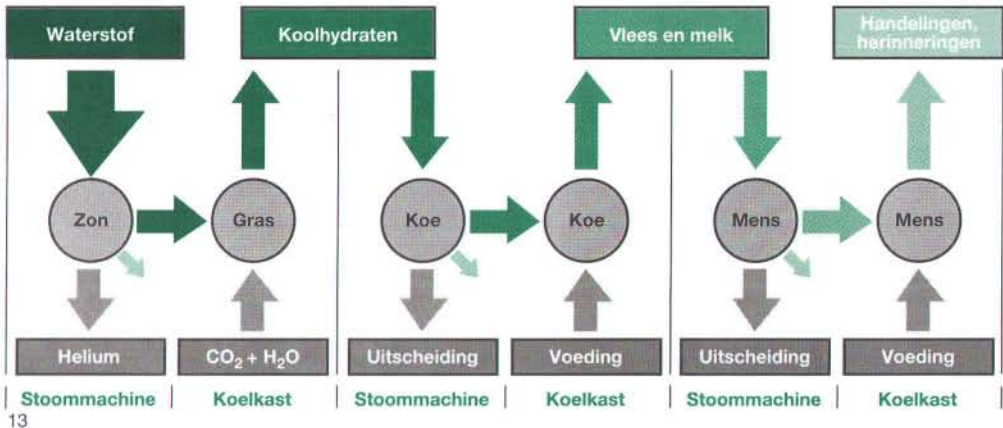
12

11 en 12. Met de opkomst van de stoommachine, begon men de wetten van de thermodynamica te ontdekken. New-

comen maakte een van de eerste stoommachines, die water uit de mijnen pompte (11). Later ontdekte men het principe

Stoommachines en koelkasten in de natuur

We kunnen ons lichaam beschouwen als een 'stoommachine', waarin voedsel (warme gebied in afbeelding 6c) wordt verbrand tot uitscheidingsprodukten (koude gebied in afbeelding 6c). De vrijkomende energie zullen we meestal niet gebruiken om koelkasten aan de gang te houden, maar wel voor thermodynamisch analoge processen als het bouwen van een kathedraal en het maken van geordende structuren in de hersenen als we er herinneringen opslaan. Vervolgens vragen we ons af waar ons voedsel vandaan komt. Of het voedsel nu plantaardig is of dierlijk, uiteindelijk is het het resultaat van een reeks aan elkaar gekoppelde processen die bij de zon begint. Een voorbeeld van een dergelijke keten van gekoppelde processen tonen we schematisch in afbeelding 13. We zien daar dat elke schakel in de keten bestaat uit een 'stoommachine' en een 'koelkast'. De vrije energie die in de stoommachine vrijkomt, wordt gebruikt voor het opbouwen van de laag-entropische structuur in de gekoppelde koelkast. Behalve vrije energie geeft elke stoommachine ook warmte af aan de omgeving, zodat de entropie van het universum bij elke schakel in de keten toeneemt. We concluderen dat, omdat de totale hoeveelheid energie in het universum constant is, tengevolge van de voortdurende entropie-



13

om met gebruik van energie warmte te brengen van een koude naar een warme omgeving, bijvoorbeeld in een koelkast (12).

13. Processen op aarde maken gebruik van de energie die de zon uitstraalt. In levende organismen kunnen we een

onderscheid maken tussen de processen waarbij warmte vrijkomt ('stoommachine') en de processen waarbij de vrijgekomen

warmte weer voor een deel wordt gebruikt voor het opbouwen van geordende structuren ('koelkast').

produktie de voor arbeid beschikbare energie voortdurend afneemt.

Teruggaand in de keten, lijkt het voor de hand te liggen dat de oorsprong van alle processen ligt bij een toestand van minimale entropie. Deze conclusie stemt overeen met de idee dat het heelal met een oerknal is ontstaan vanuit een minimaal volume van oneindig dicht op elkaar gepakte massa. Alle processen die daarna hebben plaatsgevonden, waaronder ons handelen en denken, zijn op een ingewikkelde manier met elkaar verbonden, waarbij de entropie steeds toeneemt – hoewel plaatselijk geordende structuren ontstaan. Zo is ons handelen en denken een onderdeel van één groot kosmisch gebeuren.

De pijl van de tijd

In bovenstaand verhaal heb ik geprobeerd duidelijk te maken dat in de natuur allerlei aan elkaar gekoppelde processen met z'n allen spontaan verlopen, waarbij de entropie van het universum toeneemt. Zo geeft de entropie de richting van de thermodynamische tijd aan: 'vroeger' komt overeen met een toestand van minder entropie en 'later' met een toestand van meer entropie. Onze tijdsbeleving, de psychologische tijd, wordt bepaald door de volgorde van gebeurtenissen en verschijnselen, die we als herinneringen bewaren. We hebben ge-

zien dat herinneringsvorming alleen maar kan optreden in combinatie met andere processen. Bij de vorming van elke volgende herinnering, neemt de entropie van het heelal weer iets toe. We ervaren dus dat de tijd voortschrijdt in de richting waarin de entropie in het universum toeneemt en daarom zullen de pijl van de thermodynamische tijd en die van de psychologische tijd in dezelfde richting wijzen.

Literatuur

Atkins PW. Energie en entropie. De tweede hoofdwet van de thermodynamica. Maastricht: Natuur & Techniek, De Wetenschappelijke Bibliotheek, 1991.

Hawking SW. Het heelal. Amsterdam: Bert Bakker, 1988.

Bronvermelding illustraties

Geosens BV, Rotterdam: pag. 58-59.
 Spaarnestad Foto- en Filmarchief, Haarlem: 1 (drie bovenste foto's en de foto middenonder).
 ANP-Foto, Amsterdam: 1 (foto's links- en rechtsonder).
 Guy Ackermans, Wageningen: 2.
 Solvay Duphar BV, Weesp: 3.
 Bols Benelux BV, Zoetermeer: 4.
 Siemens, München, D: 5.
 Nationaal Italiaans Verkeersbureau, ENIT, Amsterdam: 7.
 Collectie Hans Kreft, Rotterdam: 8.
 Uit: B. Dixon. Wetenschap en samenleving. Maastricht: Natuur & Techniek, 1991: 11.
 KEMA, Arnhem: 12.

ANALYSE & KATALYSE

INTEGRATIE VAN WETENSCHAP EN TECHNOLOGIE IN DE SAMENLEVING

Onder redactie van ir S. Rozendaal.

SIMON ROZENDAAL

Fairplay EN DE TEELBAL

Dopingexpert Douwe de Boer over sport, anabolen, wandelende kleerkasten en biotechnologie

In februari 1993 hoopt het in Utrecht gevestigde dopinginstituut weer een officiële licentie van het Internationaal Olympisch Comité (IOC) te hebben. Dr Douwe de Boer, die de leiding heeft over het laboratorium sinds professor Jacques van Rossum er weg is (een van de redenen trouwens voor het IOC om de licentie in te trekken) heeft er alle vertrouwen in.

Eerst moet de Duitse dopingexpert prof dr Manfred Donike een positief advies uitbrengen of het wetenschappelijk niveau van het instituut – officieel het Nederlands Instituut voor Drugs en Doping Research geheten – hoog genoeg is. Dat moet lukken, denkt de 32-jarige Douwe de Boer. Donike was een van de opponenten bij de promotie van De Boer in september. De Boer: "Hij had nog nooit een Nederlandse promotie meegemaakt en was wel onder de indruk van het decorum. In Duitsland gaat het allemaal wat minder officieel toe."

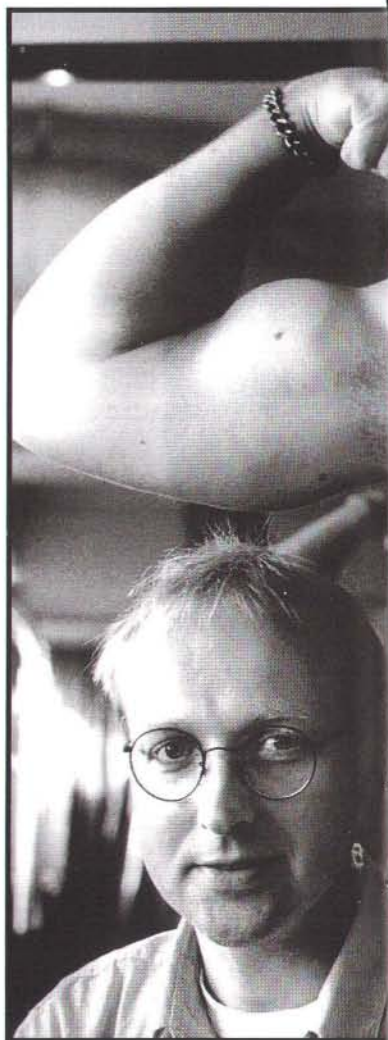
De Boer en Donike hebben een redelijke verstandhouding. Ze hebben ook ongeveer dezelfde benadering van het dopingvraagstuk. In die benadering zit een merkwaardige tweeslachtigheid. Officieel zijn alle dopingexperts

onverzettelijk tegen dopinggebruik, maar als je in een rustig hoekje, weg van de schijnwerpers en de tv-camera's, met ze praat, dan zijn ze opeens een heel stuk genuanceerder.

De Boer: "Tja, wat wil je. De functie van iemand als Donike is het terugdringen van het gebruik van anabole steroïden. Dat geldt voor mij ook. Maar dat neemt niet weg dat ik vind dat anabolen medisch best verantwoord zouden kunnen worden toegediend. Het probleem is alleen dat het botst met de sportethiek."

De vraag wat dat dan wel mag zijn, die sportethiek, brengt De Boer, zelf volleybaler, enigszins in verwarving. Uiteindelijk komt hij tot: "Sport in competitieverband is het belonen van natuurlijke mogelijkheden, anders gezegd: talent."

De centrale vraag is dus wanneer die biologische aanleg kunstmatig wordt beïnvloed. Neem twee kinderen met ongeveer dezelfde aanleg om heel goed te tennissen. Het ene kind is de dochter van een tandarts uit de Amsterdamse wijk Oud-Zuid, de andere de dochter van een werkloze immigrant uit de Bijlmer. Tien tegen een dat de dochter van de tandarts haar mogelijkheden wel kan



benutten en de dochter van de werkloze niet: een goede tennisser kost ouders al gauw enkele duizenden guldens per jaar, aan rackets, kleding en lessen.

Is dat kunstmatige competitievervalsing? De Boer: "Nee. Welvaart heeft geen invloed op talent, alleen op de mogelijkheden om dat talent tot ontwikkeling te laten komen. Dat is ook een oneerlijkheid, maar van een andere orde." Maar hoe zit dat dan

met voeding? Goede voeding kost ook geld en heeft biologische consequenties. "Ja, dat is waar. Bij voeding betreed je eigenlijk al een grensgebied. Maar deze vorm van competitievervalsing is door het IOC niet verboden."

Hondenogen

Wel verboden is doping. Wat is dat? Een grinnikende De Boer: "Doping is dat wat op de IOC-lijst staat." Het is net

sympathieke indruk. Hij ontkent nog steeds dat hij heeft geslikt. En waarom werd Theunisse tijdens de Tour de France van 1988 wel gestraft en Pedro Delgado, de latere winnaar, niet, terwijl ze allebei op dopinggebruik werden betrap?

Ook Douwe de Boer meent dat de praktijk op dopinggebied voor discussie vatbaar is. De dopingcontrole blijft een net met grote mazen. Er heerst een wapenwedloop

Officieel zijn dopingexperts tegen doping, maar in een stil hoekje praten ze er een stuk genuanceerder over

de oude Rang-reclame. 'Rang is alleen Rang als er Rang op staat.'

De verboden snoepjes op de lijst die het Internationaal Olympisch Comité regelmatig uitvaardigt, liggen niet altijd voor de hand. Anabole steroïden, ja natuurlijk, maar het hoestdrankje efedrine? De geneesmiddelen voor hartpatiënten bètablokkers? Caffeïne dan: doet elke koffiedrinker aan doping? Met andere woorden, de dopinglijst van het IOC is zeker voor discussie vatbaar.

En dat is dan ook precies wat er al enkele jaren gebeurt. Zodra een sporter op doping wordt betrap, woedt er maandenlang een discussie op de sportpagina's van de kranten. Neem de wielrenner Gert-Jan Theunisse. Hij werd drie keer op doping betrap en is streng geschorst. Wetenschappelijk is het heel moeilijk om er een speld tussen te krijgen, maar heel veel Nederlanders zullen toch een gevoel houden dat er iets niet deugt met het systeem.

Theunisse heeft betrouwbare hondenogen en maakt een

tussen sporters en controleurs. Voortdurend komen er dankzij de farmaceutische industrie nieuwe vormen van doping op de markt. Elke keer als de controleurs gewapend met weer nieuwere analyse-apparatuur erin slagen om de heersende vorm van doping aan te pakken, blijkt er weer een alternatief beschikbaar.

Zo is het gegaan met de alkaloiden als strychnine en efedrine uit het begin van de eeuw, met de amfetaminen uit de jaren zestig en zeventig en zo zal het ook gaan met de huidige doping, de anabole steroïden. Nu de controle op anabolen is verscherpt, stappen sporters in toenemende mate over naar eiwithormonen die dankzij de biotechnologie worden gemaakt. Stoffen als EPO, erythropoëetine – een bloedhormoon. Wanneer De Boer en zijn collega's er over een jaar of tien in geslaagd zullen zijn om het gebruik van die stoffen aan te pakken, komen er weer nieuwe. Misschien wel de eveneens dankzij de biotechnologie geproduceerde neuropep-



Dr Douwe de Boer. (foto: Ivar Pel/OMI, Universiteit Utrecht)

tiden als vasopressine, oxytocine en substantie P.

Een beetje handige sporter wordt niet op doping betrapt. De Boer: "Je zou een dopingtest een soort intelligentietest kunnen noemen. Alleen de minder slimme sporters worden betrapt." Wie destijds Ben Johnson zich heeft zien verdedigen tijdens het Canadese proces dat volgde op zijn geruchtmakende uitsluiting van de Olympische Spelen in Seoul, begrijpt wat De Boer bedoelt.

Volgens De Boer is de dopingdiscussie een tijdgebonden verschijnsel. "Over honderd jaar is er geen dopingdiscussie meer. Sterker, ik denk dat over een eeuw de sport zoals die nu is, zal verdwijnen." Hij meent dat de commerciële belangen in de sport zo toenemen dat de huidige sportethiek op de helling

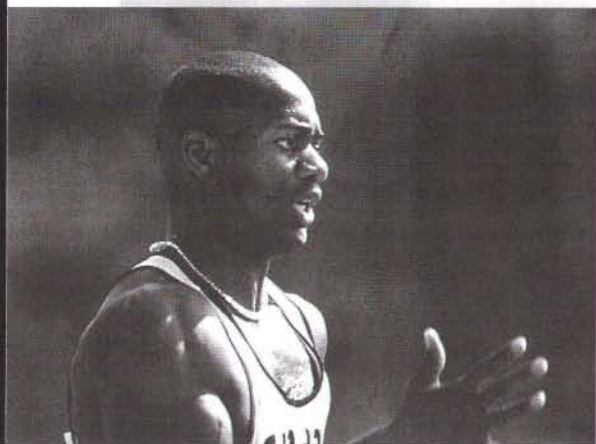
Het is niet zo dat elke stijve hark met een handjevol anabolen opeens tot olympische prestaties in staat is

zal gaan. Sport wordt steeds meer een volksvermaak waarbij de vraag of de competitie wel eerlijk is steeds minder belangrijk zal worden, meent de Boer. Langzaam maar zeker zal doping, mits onder medische controle, worden toegestaan.

En daarmee is trouwens ook weer een bepaalde eerlijkheid terug: als iedereen doping mag gebruiken, is alles weer gelijkgetrokken. De effecten van doping moeten immers niet worden overtrokken. Het is niet zo dat elke stijve hark door doping opeens tot olympische prestaties in staat is. Doping verbetert de prestaties, dat staat vast sinds Ben

Johnson in 1988 met doping de snelste was op de honderd meter en in 1992 zonder doping nergens was. Maar heel veel is het ook weer niet: zo'n vijf procent, toonde Johnson aan.

Veel van de effecten van doping zijn psychologisch. Sporters krijgen er niet zozeer een beter lichaam van, maar ze voelen zich er beter bij. Dat heeft De Boer ook vernomen van de nieuwste doping, erythropoëtine. "Pas sprak ik twee Nederlandse topsporters die EPO gebruikten. Die vertelden me dat ze zich er vooral lekkerder bij voelden." Dat heeft vervolgens weer een biologisch ef-



(foto: D.P.P.I./Omnipress)

Ben
Johnson

De Canadese sprinter Ben Johnson is het levende bewijs dat doping wel degelijk werkt. In 1988 werd Ben Johnson betrapt tijdens de Spelen van Seoul op het gebruik van het anabole androgeen stanozolol. Hij moest zijn gouden medaille op de honderd meter inleveren en werd geschorst. Toen hij in 1992 schoon aan de Spelen van Barcelona meedeed, kwam hij vijf meter minder ver dan in Seoul.

Douwe de Boer: "Al vóór Seoul gingen de geruchten dat Johnson slikt. Er werd verteld dat hij ook probenicide gebruikte, een maskerend middel waarop ook de wielrenner Pedro Delgado destijds is betrapt (maar niet gestraft). Collega's vroegen toen al om extra op te letten."

Dat Johnson werd betrapt, was merkwaardig. Hij had makkelijk de dans kunnen ontspringen door tijdens de trainingen te gebruiken en enige tijd, een week of twee, voor de Spelen te stoppen. Dan was het niet meer aan te tonen geweest.

Er zijn volgens De Boer verschillende verklaringen denkbaar waarom hij wel is betrapt. In de eerste plaats is het denkbaar dat er sprake was van een 'bedrijfsongeval'. De atletiekbond IAAF zou ook volgens deze geruchten Johnson al vóór Seoul positief hebben bevonden, maar dit geheim hebben gehouden. De Boer: "Dat is niet ondenkbaar. Veel sportbonden willen wel graag dat er wordt gecontroleerd, maar vinden het niet prettig als er iets wordt gevonden." Dopingcontroles voor de schone schijn.

fect. Een sporter die zich goed voelt, traint beter, krijgt daardoor een sterker lichaam en presteert dan ook beter.

De Boer verwacht dat zich de komende decennia dezelfde ontwikkeling zal voordoen als in de klassieke oudheid. "Onder de Grieken was sport een onderdeel van de levenswijze. Iedereen deed er aan. Bij de Romeinen was het op eens een goedbetaald volksvermaak geworden. Toen is sport eigenlijk vele eeuwen verdwenen. In de negentiende eeuw kwam het weer terug. Ik vermoed dat het de komende tijd weer de kant van de oude Romeinen zal opgaan."

Kippeborst

De Boers proefschrift gaat over de meestgebruikte doping van dit moment, de anabole androgenen. Dat zijn

Het urinemonster van een olympisch atleet ondergaat een dopingtest. (foto: Leloup Collectif/Omnipress)



Volgens dit gerucht had ook het IOC, dat net als de sportbonden dolblij is met wereldrecords en de publiciteit die dit genereert, de positieve test van Johnson in 1988 geheim willen houden. Iemand van het dopinglaboratorium zou, uit woede over het geheimhouden door het IOC, de test van Johnson hebben laten uitlekken waarop het IOC wel moest. De Boer: "Ik weet het niet, maar het zou me niet verbazen."

Een tweede mogelijkheid is dat het IOC zijn spierballen wilde laten zien. Het IOC is in de aanloop van Seoul herhaaldelijk aangevallen dat het niet genoeg deed om de sport schoon te krijgen. Daarom moest er in Seoul een Barbartje hangen. Liefst geen Amerikaan – gegeven de grote financiële steun die de Amerikaanse televisiestations aan de Olympische Spelen verschaffen. De Canadees Johnson was in die optiek een aardige keuze.

Een laatste mogelijkheid is dat Johnson gewoon stom is geweest. "Zijn begeleidingsteam zal hem tijdens de Spelen geen stanozolol hebben toegediend. Het wist dat er op werd gecontroleerd. Maar Johnson heeft het tijdens de trainingen lang gebruikt. Het gaf hem waarschijnlijk zelfvertrouwen. Vlak voor de Spelen was hij geblesseerd geweest aan zijn hamstrings en miste misschien zelfvertrouwen. Wellicht dat hij daarom zelf, buiten zijn begeleiders om, stanozolol heeft gebruikt. Het is niet slim, maar Ben Johnson is niet zo bijster intelligent."

stoffen die zijn afgeleid van het mannelijk geslachtshormoon testosteron. Het middel wordt niet alleen in de sport gebruikt. Tal van jonge mannen slikken het tegenwoordig. Dat is een gevolg van de brede-bovenkantcultuur.

Mede onder invloed van filmhelden als Arnold Schwarzenegger en Jean Claude van Damme streven veel jonge mannen het uiterlijk van een klerenkast na.

Daartoe moeten ze wekelijks vele uren aan de Nautilus-apparatuur doorbrengen, maar daarmee alleen maak je van een kippeborst meestal nog geen indrukwekkende tors. Androgenen kunnen een handje helpen. In navolging van de VS (waar niet alleen de handel, maar ook het bezit van androgenen inmiddels door de strafrechter is verboden) bestaat er dan ook in Nederland en België een levendige belangstelling voor

anabole androgenen. Wie naar een fitnesscentrum gaat en daar enkele maanden vrouwen wint van de eigenaar, kan er heel makkelijk aan komen.

Het proefschrift van Douwe de Boer spitst zich toe op het aantonen van deze steroïden met behulp van gaschromatografie en massaspectrometrie. Het onderzoek begon in 1986 onder leiding van Van Rossum in Nijmegen en verhuisde in 1987 naar de universiteit van Utrecht.

De term steroïden is afgeleid van de verbinding cyclopentanofenantreen. Het betreft moleculen met drie zeshoekige structuren (benzeenringen) en een vijfhoekige. Ondermeer in de mannelijke zaadbol worden dergelijke stoffen geproduceerd met als voorname vertegenwoordigers androsteron en testosteron.

Er zijn inmiddels zo'n vijfduizend van deze verbindingen bekend. Sommige hebben een androgene, mannelijke, werking, sommige (met dezelfde molekuulbasis) een estrogene of progestagene

(vrouwelijke) werking. Ook de corticosteroïden (geneesmiddelen voor astma, eczeem en van alles en nog wat) hebben dezelfde structuur van drie zesringen en een vijfkring. Ze worden alle in het lichaam gemaakt op basis van de vet-

achtige substantie cholesterol (wat al aangeeft dat cholesterol niet zo'n negatieve werking heeft als het veelal in de voedingsdiscussie lijkt). Niet alleen de mannelijke en vrouwelijke geslachtsorganen zijn van belang bij de steroïdhor-

Gert-Jan Theunisse

De Nederlandse wielrenner Theunisse is in totaal drie keer betrapt op een te hoge testosteronspiegel. Ook in de contra-expertises was Theunisse positief. Met Theunisse is iets merkwaardigs aan de hand. De verhouding tussen testosteron en epitestosteron was die keren bij hem heel hoog, rond de twintig. Epitestosteron lijkt sterk op testosteron. Bij de meeste mensen is de hoeveelheid testosteron gekoppeld aan de hoeveelheid epitestosteron. Beide worden in het lichaam gemaakt. Als er synthetisch testosteron wordt toegevoegd, is de verhouding tussen de twee stoffen verstoord. Een verhouding van boven de zes wordt als strafbaar beschouwd.

De complicatie is dat er sommige mensen zijn die van nature een hoge verhouding tussen de twee stoffen hebben. Twintig daarentegen is wel extreem hoog. Theunisse heeft zelf gezegd dat zijn hoge verhouding gekomen zou kunnen zijn door zware inspanning en door het gebruik van corticosteroïden tegen sommige infecties (veel wielrenners hebben nogal eens infecties rond het zadelvlak).

De Boer wil niet hardop zeggen dat Theunisse doping heeft geslikt. Dat ligt in Nederland te gevoelig.



In de wereld van de bodybuilding bestaat een levendige (louché) handel in anabole androgenen. Veel krachtpaters vinden dat ze met training alleen toch te schriel blijven.
(foto: Roel Rozenburg/Hollandse Hoogte, Amsterdam)

Theunisse is populair en bovendien lopen er nog rechtzaken. Zijn standpunt is echter duidelijk. "Aan de Utrechtse universiteit zijn inspanningsexperimenten gedaan met vijf topsporters; wielrenners en tri-atleten. Uit die studie concludeer ik dat noch inspanning, noch corticosteroiden de hoge verhouding tussen testosteron en epitestosteron van Gert-Jan kunnen verklaren."

Het is theoretisch altijd denkbaar dat Theunisse een bijzondere speling van de natuur is. Heel erg waarschijnlijk acht De Boer dat niet. "Hoeveel heeft Theunisse nog gepresteerd de afgelopen jaren?"

Er is overigens een experiment denkbaar om na te gaan of Theunisse zo'n curiositeit is. Het is mogelijk om de natuurlijke testosteronproductie uit te schakelen (met het anti-schimmelmiddel ketoconazol dat dit als bijwerking heeft). Als dan ook nog eens de bijnieren worden stilgelegd met corticosteroiden wordt in het lichaam geen testosteron geproduceerd. Door te observeren wat er vervolgens met de ratio testosteron-epitestosteron gebeurt, zouden onderzoekers een juist beeld krijgen van hoe natuurlijk de hoge verhouding bij Theunisse is.



(foto: D.P.P.I./Omnipress)

monen, ook bijnier en lever spelen een rol, al is nog niet helemaal duidelijk welke.

Magische saus

Tot aan de jaren tachtig was het moeilijk om het gebruik van synthetische androgenen in het lichaam aan te tonen. Daarvoor was de koppeling van gaschromatografie en massaspectrometrie noodzakelijk. Die bestaat al langer, maar massaspectrometers waren meestal duur. Door de ontwikkeling van de micro-elektronica zijn de prijzen van massaspectrometers in de jaren tachtig zo gedaald dat een beetje laboratorium tegenwoordig de combinatie van GC en MS (zoals het in labjargon heet) kan betalen. De interpretatie is echter niet simpel. Massaspectrometrie berust op het breken van een molecuul in kleine fragmenten. Omdat de breuklijnen in de molekulen, afhankelijk van welke atoomgroepen er aan het molecuul zijn beves-

tigd, nogal eens willen verschillen, is dopingcontrole buitengewoon ingewikkeld. Het grootste deel van De Boers proefschrift gaat op aan de interpretatie van al die verschillende androgene stoffen.

Doping heeft etymologisch overigens een sterke Nederlandse component. Volgens De Boers proefschrift gebruikten de Amerikaanse Indianen in de zeventiende eeuw een dikke magische saus om vermoeidheid te bestrijden. De Nederlandse kolonisten op Manhattan noemden dit 'doope' en snoepten er zelf af en toe ook wat van – soms wel eens iets teveel, met een dodelijke afloop. De Engelsen maakten er dope van. Volgens De Boer – zelf een noorderling – bestaat er in het Westfries ook nog een oud woord 'dope' voor dikke, pastei-achtige brouwsels.

Het eerste gedocumenteerde geval van doping in de sport is uit 1865, toen een zwemer cafeïne nam voor een

kanalenwedstrijd in Amsterdam. In 1896 stierf de Wel-sche wielrenner Arthur Linton, nadat hij verrassend Bordeaux-Parijs (op basis van trimethyl) had gewonnen. Tijdens de Olympische Spelen van 1904 stortte de Engelsman Thomas Hicks eerst in elkaar bij het rennen van de marathon, maar nadat hij een flinke slok brandy met strychnine had genomen, liep hij vrolijk verder en won de marathon.

Pas vanaf de jaren zestig is het gebruik van doping in sport verboden en wordt er bij Olympische Spelen op getest. België was in 1965 een van de eerste landen ter wereld, waar het gebruik van doping in de sport wettelijk was verboden. De Spelen van 1968 waren de eerste waar officieel werd getest (zonder resultaat overigens).

P r o f e e t

EN PREDIKER

Jeremy Rifkin, criticaster van de biotechnologie

What's your name? Willie? OK, Willy, please stand up and tell us..." De volle zaal in het Amsterdamse centrum De Balie luistert ademloos naar de Amerikaanse publicist en activist Jeremy Rifkin. Zijn lezing is een wervelende show. Rifkin gebruikt het podium slechts om even zijn jasje en das uit te trekken en de mouwen op te stropen. Daarna verkondigt hij ruim een uur zonder onderbreking op luide toon zijn boodschap tegen de biotechnologie en de vleesindustrie, geagiteerd door de zaal lopend. Regelmatig plukt hij iemand uit het publiek voor een kort vraag- en antwoordspel als illustratiemateriaal van zijn speech. Rifkin houdt van sterke uitspraken en deinst er niet voor terug ook over de geschiedenis van de mensheid als geheel geprononceerde opvattingen te hebben. Een echte prediker.

Rifkin was even in Nederland om zijn nieuwste boek *Beyond beef – The rise and fall of the cattle culture* te lanceren. Het boek analyseert de vleesindustrie en de cultus van de hamburger. Volgens Rifkin is het eten van vlees slecht voor de gezondheid en schadelijk voor het milieu. De dieren worden in de bio-industrie schandalig behandeld en de vleesproductie bevordert de hongersnood in ontwikkelingslanden. "In de rijke landen overlijden men-

sen aan borstkanker en hartkwalen. In ontwikkelingslanden is tegelijkertijd de landbouw op de productie van veevoer omgeschakeld, waardoor de voedselvoorziening daar is ontwricht", aldus de Amerikaan.

Zijn boek is al omschreven als diepgaander en schokkend dan *The jungle* van Upton Sinclair, het boek dat de slachthuizen in Chicago van begin deze eeuw beschreef en voor het eerst de aandacht van de Amerikanen vestigde op de erbarmelijke omstandigheden in de abattoirs. Het gaat Rifkin echter niet om het vlees als zodanig. Voor hem is de hamburgercultuur het symbool van de totale levensstijl van het rijke Westen.

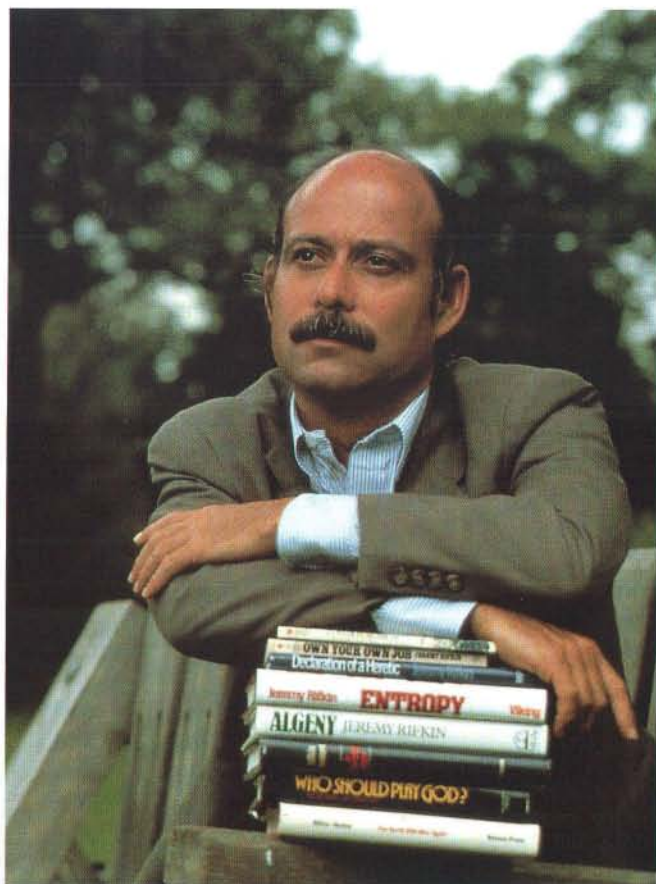
"Die levenswijze is op zijn retour", aldus de Amerikaan. "In volgende eeuwen zullen mensen op het laatste deel van de twintigste eeuw terugkijken als de periode waarin de mensheid de vleescultuur te boven kwam. Verander wat je eet en je verandert je gehele cultuur."

Jeremy Rifkin is de horzel van de Amerikaanse nucleaire en bio-technologie. Hij is president van de Foundation on Economic Trends en de Greenhouse Crisis Foundation in Washington. Van daaruit bestookt hij onophoudelijk multinationals en wetenschappers met scherpe en vaak rake kritiek. Hij is bekend geworden door felle campagnes tegen genetische



(foto: Jan Banning/Hollandse Hoogte, Amsterdam)

(foto: Sunshine, Almere)



manipulatie, tegen het rundergroeihormoon BST, tegen kerncentrales en tegen patentering van dieren en planten. Op dit moment voert hij een internationale campagne tegen McDonalds, de *Beyond beef coalition*. Dit voorjaar moet deze actie in Europa om zich heen grijpen. Klanten zullen een folder in de handen gedrukt krijgen, waarin alle gevaren van de hamburger worden uiteengezet. In de VS bereidt Rifkin inmiddels een nieuwe actie voor tegen genetische manipulatie van voedsel, de *Pure food campaign*. Vanaf midden november wordt in de Amerikaanse kerken ge-

Jeremy Rifkin: "Verander wat je eet en je verandert je cultuur!"

ageerd tegen het veranderen van het DNA van planten en dieren. De actie richt zich overigens niet tegen het manipuleren van micro-organismen. "We zijn al zover dat vijftienhonderd chefs van gerenommeerde restaurants in de VS hebben verklaard geen genetisch gemanipuleerd voedsel te serveren. Het symbool van deze actie is een DNA-spiraal met een streep erdoor. In de kerken willen we bewerkstelligen dat iedere gemeente planten adopteert

en ook gaat verbouwen. Zo kunnen we het alternatief van genetische manipulatie laten zien: het rentmeesterschap over de natuur."

Door de biotechnologie vanuit de consument aan te pakken, hoopt Rifkin het dispuut over het toekennen van patenten op levende dieren te beslechten. "Als niemand genetisch veranderd voedsel wil nuttigen, heeft patentering voor de industrie ook geen zin meer." De Amerikaan is optimistisch over de mogelijke resultaten van zijn acties. "Uiteindelijk is de biotechnologie met al zijn miljoenen nog niet verder dan het patent op één muis. We hebben ze al flink gedwarsboomd."

Zere plekken

Rifkin brengt alles met alles in verband. Dit karakteriseert alle boeken die hij over milieu, biotechnologie, energie en economische groei heeft gepubliceerd, waaronder *Entropy - a new world view*; *Algeny - a new word - a new world*; *Biosphere politics* en *Declaration of a heretic*. Ook

daarin passeert een enorme hoeveelheid informatie de revue ter ondersteuning van het argument dat álles anders móet. Want daar gaat het Rifkin om.

De Amerikaan is ervan overtuigd dat de heersende aanpak in de economie, in de wetenschap en in de technologie desastreus is voor de toekomst van de planeet Aarde. "We leven in een cruciale periode. De volgende eeuw zal die van de biologie zijn. Hoe maken we die overgang, welk

wereldbeeld zal overheersen? Ontzettend belangrijk." Het roer moet om en daar zal de jonge generatie de stoot toe geven, zo is zijn overtuiging. Rifkin: "Ik heb het gevoel dat de generatie van de jaren zestig en hun kinderen, de generatie van de jaren negentig, zullen samengaan en de basis zullen leggen voor een nieuwe visie op de wereld."

Dit streven deelt Rifkin met andere new-agedenkers en propagandisten. Het bepaalt ook een belangrijk deel van zijn publiek. In De Balie onderwierp hij zijn gehoor aan een test. "Stelling één: het bewustzijn is een functie van het brein. Stelling twee: het brein is een instrument van het bewustzijn. Wie ondersteunt stelling één? Ha, de harde wetenschappers!"

Die 'harde wetenschappers' bleken de zaal voor ongeveer de helft te bevolken. Zij zijn



(foto: Guido van Dooremaalen/Hollandse Hoogte, Amsterdam)

zie, vind ik die gedachte bizar. Er moet iets méér zijn, iets dat fundamenteeler is dan we zelfs maar kunnen vermoeden."

Rifkin is ook tegen het nieuwste high-techspeeltje, de virtual reality. "Dan is zelfs de totale werkelijkheid onderworpen aan de techniek"

er bijvoorbeeld van overtuigd dat het bewustzijn zich in het evolutieproces uit de materie ontwikkelde. De andere helft van Rifkins gehoor bleek van mening dat de zaak omgekeerd lag, de materie zou slechts de uitdrukking van de geest zijn.

Voor de zaal sprak Rifkin zich niet uit over zijn eigen keuze uit z'n stellingen, maar in het eerdere vraaggesprek was hij wel bereid in te gaan op zijn levensfilosofie. De Amerikaan heeft moeite met de moderne evolutietheorie. "Ik kan gewoon niet geloven dat ieder schepsel ontstond in de Darwiniaanse strijd om het bestaan. Als ik een mooie kat

Toch is Rifkin niet simpelweg een van die kwakzalvers en onheilspropheten waar de Verenigde Staten zo rijk mee zijn gezegend. Jeremy Rifkin gebruikt moderne wetenschap en techniek als geen ander. Ondanks zijn religieus gekleurde retoriek, onderbouwt hij zijn argumenten met enorme hoeveelheden verwijzingen naar wetenschappelijk onderzoek en naar polemieken tussen onderzoekers. "Ik wil de moderne wetenschap en techniek zeker niet wegdoen", benadrukt hij. "Maar ik wil de balans herstellen, we zijn doorgeschooten." Bovendien weet Rifkin aan te sluiten bij belangrijke cultu-

rele ontwikkelingen in de wetenschappelijke en technische gemeenschap zelf. De nadruk van de new-agebeweging op holistisch denken staat niet op zichzelf. Ook in de natuurwetenschappen, de wiskunde, de wetenschapsfilosofie en de sociale wetenschappen bestaat toenemende aandacht voor de complexiteit van de werkelijkheid.

Wetenschappelijk onderzoek is al lang niet meer synoniem met het uit elkaar pulken van de werkelijkheid in steeds kleinere stukjes zonder aandacht voor het geheel, het zogeheten reductionisme. Ecologie, chaostheorie, onderzoek naar het taalvermogen van walvissen, de natuurkunde van zeepbellen – het zijn gebieden waarin de nadruk ligt op de relaties tussen complexe grootheden. Rifkin benut deze benaderingen volop om de noodzaak van een nieuwe, 'postmoderne' wetenschap te onderstrepen. Hij weet daarbij haarfijn de vinger op de zere plekken te leggen, op de dilemma's en gevaren die de snelle technologische ontwikkelingen op-

roepen. Rifkin is het geweten van de hightech. "Ik ga uit van fundamenteel andere veronderstellingen dan het wetenschappelijk establishment", benadrukt hij. "Zij opereert op basis van Descartes, op de idee dat de mens een neutrale waarnemer is. En op de noodzaak van onderwerping van de natuur. Ik bepleit een wetenschap gebaseerd op betrokkenheid, waarin de nadruk ligt op de relaties. Mijn inspiratie is niet Descartes maar Goethe. We moeten de natuur niet willen onderwerpen, maar ons op-nieuw met haar verzoenen." Dit zal volgens Rifkin leiden tot een nieuw type wetenschappelijke kennis, *revelatory knowledge*, in tegenstelling tot de nu overheersende *controlling knowledge*. Hij is ervan overtuigd dat 'het ware karakter' van elk wezen en van de natuur kan worden

'onthuld'. Maar dan moeten we die natuur niet langer willen overheersen en manipuleren. "We moeten er bescheiden deel van willen zijn", aldus Rifkin.

Antarctica

Ook de moderne technologie moet van karakter veranderen, willen we de planeet woonbaar blijven houden. "Technologie is niet neutraal", benadrukt Rifkin, "technologie is macht." De beoordeling van technologie gaat in zijn ogen nog steeds teveel uit van de mythe dat elke techniek op zichzelf zowel ten kwade als ten goede kan worden gebruikt. "Het gaat niet om het eventuele misbruik van waarde vrije techniek, maar om de macht die de techniek zelf is. Gebruiken we niet tévéél macht? Dat is het punt."

Hij moet niets hebben van het kernbegrip van de moderne techniek, efficiëntie. "Het is de oorzaak van veel ellende. In ons wereldbeeld moet alles efficiënt, we willen een maximaal resultaat met een minimum aan inspanningen." Rifkin pleit ervoor de economie en de techniek niet langer te baseren op het maximale resultaat, maar op een voldoende resultaat. "De aarde kan de enorme omloopsnelheid van stoffen en goederen die wij creëren niet meer verwerken." Als het aan Rifkin ligt, nemen we gas terug.

Bovendien is hij fel tegenstander van het vergroten van het domein waarin de techniek het voor het zeggen heeft. "Kijken we naar de afgelopen paar honderd jaar, dan zien we de toenemende onderwerping van de aarde aan de techniek en het privé-eigendom", aldus Rifkin. De grond, de zeeën, de lucht, de ruimte, alles wordt verdeeld onder bezitters. "Antarctica is het eerste werelddeel dat per verdrag intact wordt gelaten als gemeenschappelijk bezit van de mensheid."

Het aanvragen van octrooien op genetisch materiaal ziet de Amerikaan als voortzetting van het eeuwenoude privatiseringsproces. Evenals het scheppen van computersimulaties van de werkelijkheid door middel van *virtual reality*. "Dan is zelfs de totale werkelijkheid onderworpen aan de techniek!" Met de Californische groep die de virtuele realiteit heeft uitgevonden, kan hij geen zinnig woord meer wisselen. Rifkin: "Zij begrijpen gewoon niet wat er fout is met hun schepping. Er zijn ook mensen die niet zien wat er mis is aan het patenteren van levende wezens. Tja, dan valt er niets meer te zeggen."



Rifkin bestookt multinationals voortdurend met scherpe en vaak rake kritiek. Zo richt hij zijn pijlen op McDonalds, de vaandeldrager van de hamburgercultuur. (foto: Jan Lankveld/Hollandse Hoogte, Amsterdam)

Fosfaat in beeld

De bemesting van het akkerland met mestoverschotten kan aanzienlijk bijdragen aan de vervuiling van het grondwater met fosfaten. Bij zeventig procent van de landbouwgronden in de mestoverschotgebieden kan men de komende jaren een toename van de fosfaatuitspoeling verwachten.

Onderzoekers van het DLO-Staring Centrum in Wageningen hebben, in opdracht van de ministeries van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij en van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, de fosfaatverzadiging van de bodem in enkele Nederlandse mestoverschotgebieden in kaart gebracht. Met behulp van gegevens over mestoverschotten en de bodemgesteldheid berekenden zij modelmatig welk deel van de landbouwgronden fosfaatverzadigd is en wat de verzadigingsgraad is.

Men noemt een grond fosfaatverzadigd, als de fosfaatverzadiging meer dan een kwart van de bindingscapaciteit bedraagt. In het grondwater wordt de norm voor de kwaliteit van het oppervlaktewater dan overschreden. Door overbemesting kan de verzadigingsgraad aanzienlijk hoger zijn. Als die groter is dan 50 procent van de bindingscapaciteit, noemt men de gronden sterk verzadigd. Bij een fosfaatverzadigingsgraad van meer dan 75 procent spreekt men van zeer sterk verzadigde gronden.

In het onderzoek zijn drie mestoverschotgebieden bekeken, namelijk het oostelijk, het centraal en het zuidelijk zandgebied. In deze gebieden komen fosfaatverzadigde gronden vrijwel overal voor. De kaart is samengesteld uit cellen van 2,5 bij 2,5 kilometer. De kleurcodering op de kaart geeft aan welke verzadigingsgraad bij meer dan de helft van

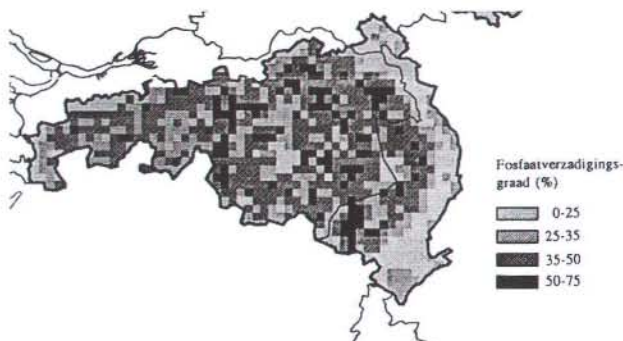
de landbouwgronden wordt overschreden.

Er blijken duidelijk regionale verschillen te zijn. Zo valt de verzadiging in Salland en Twente nog wel mee. De zeer sterk verzadigde gronden, circa 35 000 hectare komen vooral voor in Noord-Brabant en Limburg. Bij de sterk verzadigde gronden (120 000 hectare) treffen we naast de Peel ook de Gelderse Vallei aan.

De uitspoeling van het fosfaat neemt meer dan evenredig toe met de verzadigingsgraad. Naar schatting veroorzaken de sterk en zeer sterk verzadigde gronden ongeveer negen tiende van de grond- en oppervlaktewaterbelasting. Doordat de uitspoeling traag verloopt, zullen de effecten nog lange tijd merkbaar zijn.

Persbericht SC-DLO

In Noord-Brabant zijn enkele gebieden met hoge fosfaatverzadiging gevonden.



Vervuiling en theezakjes

De straal van de vereiste gifvrije zone rond een waterwingebied is tot heden te klein geschat. Bij de bepaling van een beschermingsgebied gaan waterleidingbedrijven alleen uit van de lineaire grondwaterstroming. Ze houden geen rekening met het uitwaaiërend gedrag van vervuilende deeltjes. Een project van de Stichting Technische Wetenschappen brengt de verspreiding van de vervuiling via het grondwater nauwkeurig in kaart via een nieuwe wiskundige benadering, die bovendien een factor

honderd sneller rekent dan het oude model.

Kennis over verspreidingsgedrag is belangrijk omdat enkele druppels uitgelekte benzine al voldoende zijn om duizend liter drinkwater te verknocien. Voor waterwinning is het dus zaak uit de buurt van benzinstations te blijven. Vuilnisbelten en fabrieken zijn andere potentiële vervuilers van het grondwater. De meeste bodemverontreiniging in Nederland is volgens het Rijksinstituut voor de Volksgezondheid en Milieuhygiëne (RIVM) te Bilt-



Nog steeds gebruiken landbouwers veel gif. (Foto: Piet den Blanken/Hollandse Hoogte, Amsterdam)

hoven echter afkomstig van de intensieve landbouw.

Volgens het RIVM-jaarslag strooit de Nederlandse boer jaarlijks 21 kilogram gif per hectare, een Europees record. Tevens wordt de grond in ons land overbemest. De toediening van 300 tot 500 kilogram stikstof per hectare is geen uitzondering. Uitspoeling hiervan zorgt voor concentraties nitraat in het grondwater die tien tot honderd maal de drinkwaternorm overschrijden. Op de Veluwe zijn om die reden al enkele drinkwaterputten gesloten. Maar dit is volgens het RIVM slechts een voorbode van wat er nog komt. Bestrijdingsmiddelen doen er namelijk tientallen jaren over voordat ze aankomen in grondwaterlagen waaraan drinkwater wordt onttrokken. Daarom is het van groot belang om het verloop van hun weg zo goed

mogelijk te kunnen voorspellen en de veiligheidsmarges zo groot mogelijk te houden.

Wiskundige drs Jacco van Kooten ontwikkelt voor dit doel een rekenmodel voor het RIVM. Het model berekent zowel de kans op als de aankomsttijd van een verontreiniging op een bepaald punt. Vervuiling verplaatst zich in de bodem niet als een punt, maar als een steeds groter wordende wolk, verspreid over een groeiend gebied. Van Kooten vergelijkt het spreidingsproces met een theezakje dat het water in een theepot na verloop van tijd bruin kleurt. Dit diffusieproces in grondwater, veroorzaakt door botsende moleculen en grondporiën, was natuurlijk al langer bekend. Maar de oplossing van bestaande stochastische differentiaalvergelijkingen vereisen supercomputers die soms wekenlang moeten rekenen. Dat komt door de zeer genuanceerde benadering. Uitgaande van bepaalde aannamen, kan het model echter sterk worden

vereenvoudigd en de rekentijd fors worden ingekort. In de wiskunde heet dat een analytische benadering.

Binnen de vergelijking is dispersie van deeltjes een onzekere factor, de zogenaamde ruisterm. Ervan uitgaand dat de ruis voldoet aan bepaalde eigenschappen die proefondervindelijk zijn vastgesteld door hydrologen, berekent het model de kansen dat een 'losgelaten' deeltje na verloop van tijd via een kronkelige beweging in een bepaald punt terecht komt. Deze aanpak geeft niet alleen tijd- en geheugenwinst voor de computer, maar leidt ook tot een exactere uitkomst. De door de computer gemaakte afrondfouten, die de werkelijkheid vertekenen, worden namelijk vermeden. "De afwijking van mijn rekenmodel met de werkelijke oplossing is maximaal drie procent", aldus Van Kooten.

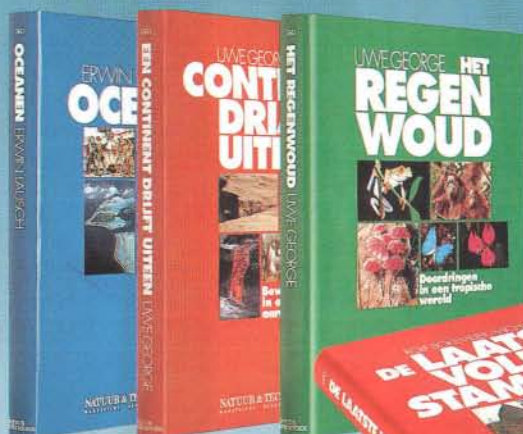
Peter de Jaeger

de nieuwste uitgaven van • **NATUUR & TECHNIEK** • • •

**ONZE JUBILEUMSERIE OVER HET MILIEU
IS INTUSSEN COMPLEET**

Het regenwoud – Doordringen in een tropische wereld
Het tropische regenwoud is de rijkste levensgemeenschap die onze Aarde kent. Nieuwe levensvormen ontstaan hier sneller dan de wetenschap ze kan ontdekken. Maar op dit moment wordt het tropische regenwoud door menselijk ingrijpen sneller vernietigd dan de wetenschap het kan bestuderen. Dit boek brengt op alarmerende wijze in beeld wat er op het spel staat...

Geheel in vierkleurendruk en gebonden in linnen band met stofomslag.
380 pagina's met 408 afbeeldingen.



Een continent drijft uiteen

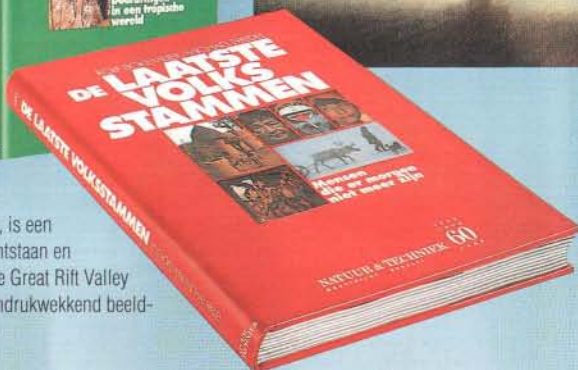
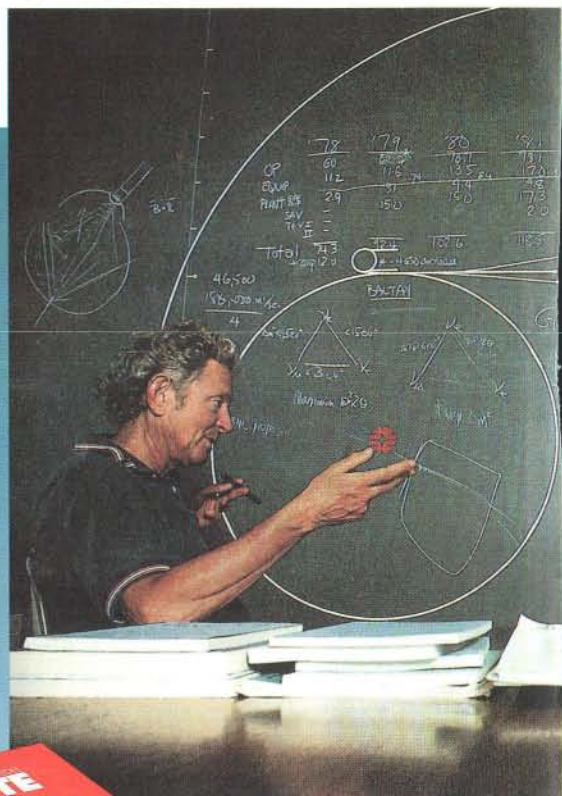
Wat er momenteel in Afrika gebeurt, is een model van hoe water en land zijn ontstaan en nog voortdurend ontstaan. Langs de Great Rift Valley drijven twee platen uit elkaar. Een indrukwekkend beeldverslag van een oceaan in wording.

Geheel in vierkleurendruk en gebonden in linnen band met stofomslag.
362 pagina's met 278 afbeeldingen.

Oceanen – Mozaïek van water en land

Bijna driekwart van het oppervlak van onze planeet is water. Deze watermassa is niet alleen een uitdaging voor ontdekkingsreizigers, maar ook een natuurlijk laboratorium voor onderzoekers. Oceanografen hebben ontdekt dat de oceanen de keuken zijn waar het weer wordt gemaakt en waar de condities worden geschapen om leven op het land mogelijk te maken.

Geheel in vierkleurendruk en gebonden in linnen band met stofomslag.
382 pagina's met 440 afbeeldingen.

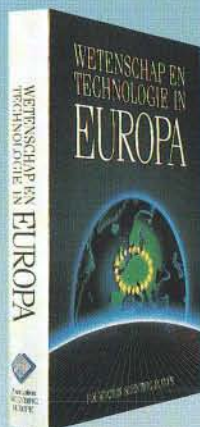
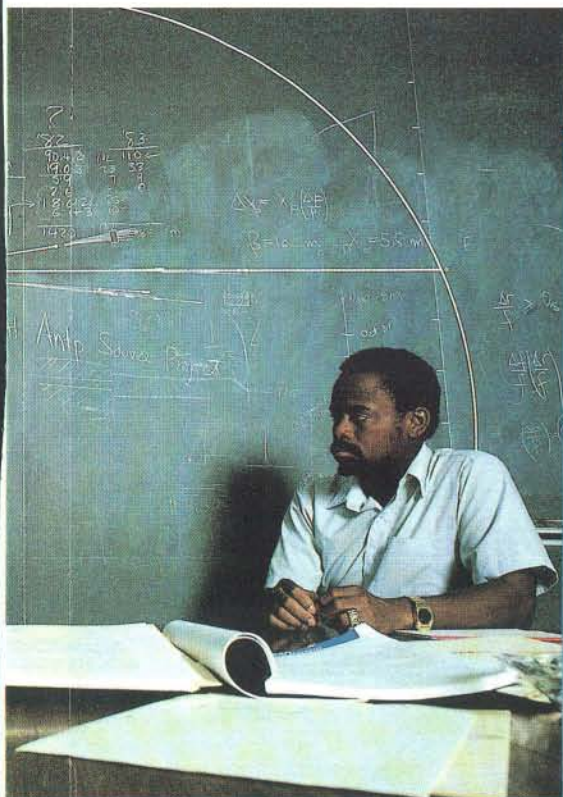


De laatste volksstammen

Ver weg van onze westerse beschaving leven volkeren en culturen die dreigen de twintigste eeuw niet te overleven. Ver weg, maar niet ver genoeg om aan de westerse expansie te ontsnappen. In alle stilte voltrekt er zich een tragedie. Dit boek wil deze stilte verbreken met een schrijnende reportage. Voordat het te laat zou kunnen zijn.

Geheel in vierkleurendruk en gebonden in linnen band met stofomslag.
348 pagina's met 280 afbeeldingen.

Prijs van elk van de vier delen: f 98,- of 1920 F. Bij intekening op de hele serie krijgt u het vierde deel gratis.



DRIE BIJZONDERE BOEKEN

Wetenschap en samenleving

Dit rijk geïllustreerde boek biedt u een blik achter de schermen van het natuurwetenschappelijke bedrijf - met al zijn kracht en zwakte, met al zijn succes en falen. Bovendien verschaft dit boek u als lezer (en kijker) een diepgaand inzicht in de relatie tussen wetenschap en maatschappij.

Geheel in vierkleurendruk en gebonden in linnen band met stofomslag. 256 pagina's met een begrippenlijst, een uitgebreide index en meer dan 400 afbeeldingen.

Prijs: f 95,- of 1860 F. Voor onze abonnees: f 79,50 of 1550 F.



Het menselijk lichaam

Dit boek, dat oorspronkelijk door de befaamde National Geographic Society in de Verenigde Staten werd uitgegeven, doet uitvoerig verslag over alle functies van het menselijk lichaam: van DNA tot en met een volwassen organisme, van het bloed tot en met het immuunsysteem, van de waarneming tot en met de verwerking van die informatie in de hersenen. Kortom: een reportage over de mens, van de wieg tot aan het graf, met art-impressions, computersimulaties en microscopische opnamen, onder andere van Lennart Nilsson.

Geheel in vierkleurendruk en gebonden in linnen band met stofomslag. 384 pagina's met 413 afbeeldingen.

Prijs: f 145,- of 2845 F. Voor onze abonnees: f 95,- of 1860 F (betaalbaar in 2 termijnen).

Wetenschap en technologie in Europa

Dit boek laat u getuige zijn van de verbazingwekkende vooruitgang die Europa's meest vooraanstaande wetenschapsmensen op allerlei terreinen hebben geboekt. Zowel op het gebied van robotica en erfelijkheidsleer als de exploratie van de ruimte. U zult kennis nemen van de bijdragen van Nobelprijswinnaars. En van meer dan tachtig vooraanstaande Europese wetenschappers.

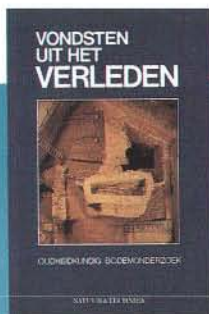
Geheel in vierkleurendruk en gebonden in linnen band met stofomslag. 384 pagina's met 413 afbeeldingen.

Prijs: f 175,- of 3450 F. Voor onze abonnees: f 125,- of 2450 F (betaalbaar in twee termijnen).

overzicht van ons totale BOEKENPAKKET



HET GREVELINGENMEER
Van estuarium naar zoutwatermeer
Prijs f 27,50 of 540 F.
Voor abonnees f 22,50 of 440 F.



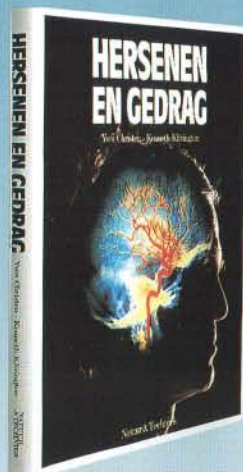
VONDSTEN UIT HET VERLEDEN
Oudheidkundig bodemonderzoek
Prijs f 17,50 of 345 F.
Voor abonnees f 15,- of 295 F.



CHEMIE EN SAMENLEVING
Een onverbreekelijke maar riskante relatie
Prijs f 32,50 of 635 F.
Voor abonnees f 25,- of 490 F.



DE EVOLUTIE VAN DE MENS
(in linnenband)
De speurtocht naar ontbrekende schakels
Prijs f 45,- of 880 F.
Voor abonnees f 35,- of 685 F.



HERSENEN EN GEDRAG
Prijs f 145,- of 2845 F.
Voor abonnees f 95,- of 1860 F.



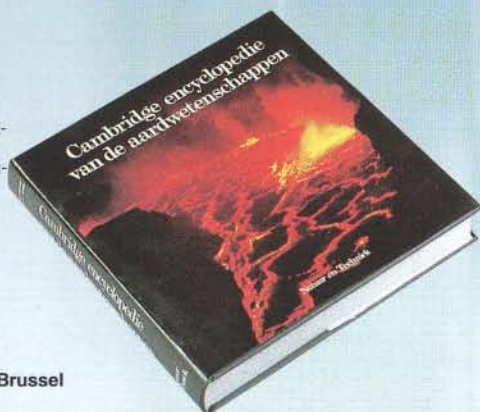
CELLEN, WEEFSELS EN ORGANEN
Een scanning-elektronenmicroscopische studie-atlas
Prijs f 94,- of 1845 F.
Voor abonnees f 65,- of 1275 F.

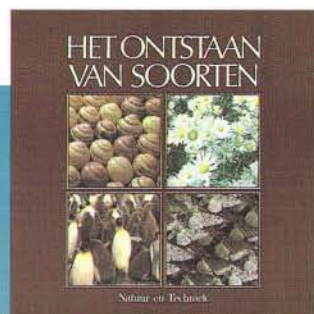


DE CAMBRIDGE ENCYCLOPEDIA VAN DE AARDWETENSCHAPPEN
Prijs f 125,- of 2450 F.
Voor abonnees f 95,- of 1860 F.

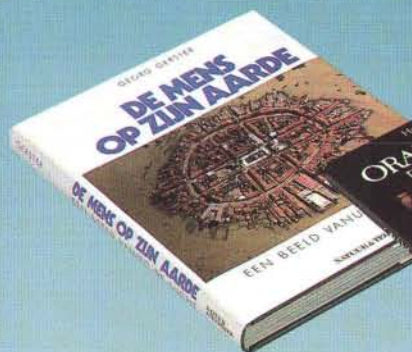
Voor uw bestelling kunt u gebruik maken van de twee in dit nummer gevoegde kaarten. Alle prijzen zijn exclusief verzendkosten. Alle boeken zijn tegen de normale prijs ook verkrijgbaar via de erkende boekhandel.

Voor Nederland:
Op de Thermen, Postbus 415
6200 AK Maastricht.
Tel. 043-254044
Voor België:
Boechtstraat 15 - 1860 Meise/Brussel
Tel. 00.31.43.254044 (Ned.)

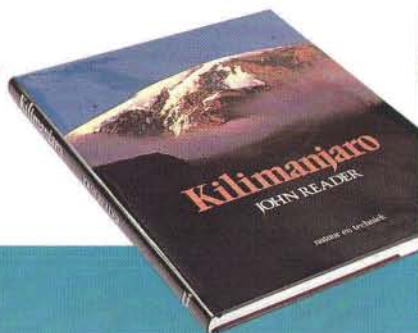
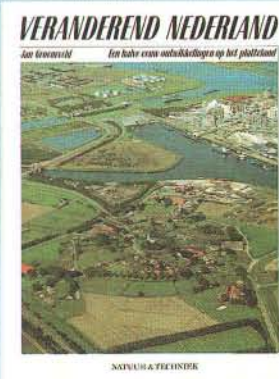




DE INFORMATIEMAATSCHAPPIJ
(in linnenband)
De gevolgen van de micro-elektronische revolutie
Prijs f 35,- of 685 F.
Voor abonnees f 25,- of 490 F.



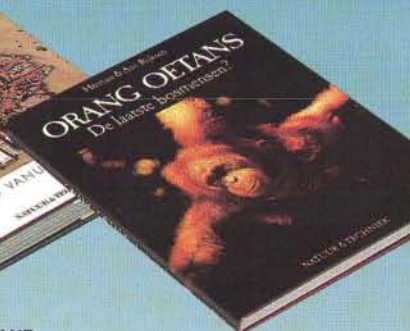
VERANDEREND NEDERLAND
Een halve eeuw ontwikkelingen op het platteland
Prijs f 69,50 of 1360 F.
Voor abonnees: f 49,75 of 975 F.



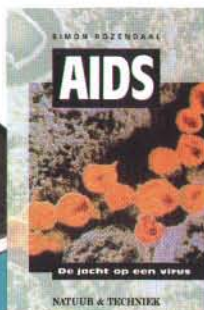
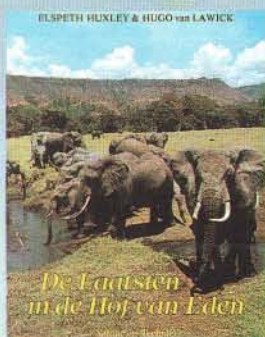
HET ONTSTAAN VAN SOORTEN
De evolutietheorie van Charles Darwin
Prijs f 24,50 of 480 F.
Voor abonnees f 17,50 of 345 F.

DE MENS OP ZIJN AARDE
Een beeld vanuit de lucht.
Prijs f 125,- of 2450 F.
Voor abonnees f 95,- of 1860 F.

ORANG OETANS
De laatste boscsmensen?
Prijs f 69,50 of 1360 F.
Voor abonnees f 49,75 of 975 F.



DE LAATSTEN IN DE HOF VAN EDEN
In groepen levende dieren in Afrika
Prijs f 49,90 of 980 F.
Voor abonnees f 32,50 of 635 F.

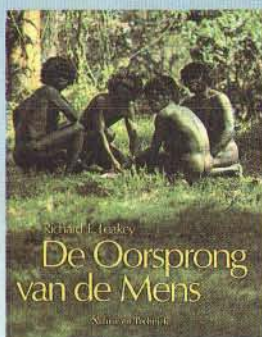
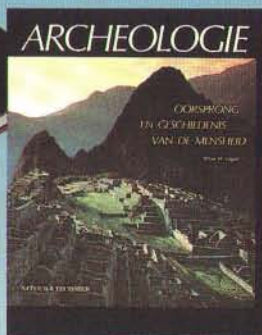


KILIMANJARO
Een verkenning van de hoogste berg in Afrika
Prijs f 69,50 of 1360 F.
Voor abonnees f 55,- of 1080 F.

AIDS
De jacht op een virus
Prijs: f 35,- of 685 F.
Voor onze abonnees: f 25,- of 490 F.

ARCHEOLOGIE
Een uitgave in samenwerking met de befaamde National Geographic Society.
Prijs f 145,- of 2845 F.
Voor abonnees f 95,- of 1860 F.

DE OORSPRONG VAN DE MENS
Naar de gelijknamige film van Richard Leakey
Prijs f 24,50 of 480 F.
Voor abonnees f 19,75 of 385 F.



de WETENSCHAPPELIJKE BIBLIOTHEEK blijft groeien

- Geen verplichtingen. U ontvangt elke drie maanden een nieuw deel 14 dagen geheel vrijblijvend op zicht.
- Geen risico. U betaalt pas als U besluit een boek te behouden.
- Prijsvoordeel. De prijs die U als lid voor een boek betaalt is aanzienlijk lager dan de prijs voor een los gekocht boek.
- U kunt op ieder moment uw lidmaatschap stopzetten.

1 | MACHTEN VAN TIEN
Dimensies in het heelal

2 | MENSELIJKE VERSCHIEDENHEID
Het spel van erfelijkheid, milieu en toeval

3 | BOUWSTENEN VAN HET ATOOM
De wetten van de natuurkunde

4 | FOSSIELEN
Een beeld van de evolutie

5 | KLANK EN MUZIEK
Een combinatie van wetenschap en cultuur

6 | HET ZONNESTELSEL
De aarde en haar kosmische bureu

7 | BEELD EN VERBEEJDING
Tussen kijken en zien

8 | DE MAAT VAN HET LEVEN
Hoe de natuur haar eigen wetten gehoorzaamt

9 | DE LEVENDE CEL
deel 1 en deel 2
Rondreis in een microscopische wereld

11 | ENERGIE EN ENTROPIE
De tweede hoofdwet van de thermodynamica

12 | IMMUNOLOGIE
Het menselijk afweersysteem

13 | EINSTEIN... EN DAARNA
De uitwerking van een geniale gedachte

14 | VUUR
De beheersing van het vlammenspel



30 | DE DNA-MAKERS

Na de herontdekking van de wetten van Mendel aan het begin van deze eeuw werd lang gezocht naar de drager van de erfelijkheid. In 1953 werd de DNA-structuur opgehelderd en vervolgens de code ontcijferd. Sindsdien zijn de ontwikkelingen in een stroomversnelling geraakt. Momenteel kennen we allerlei technieken om DNA in kaart te brengen, te vermeerderen en zelfs te veranderen. In dit boek komen vele, internationaal erkende experts aan het woord. Zij schrijven over hun eigen bijdrage aan deze DNA-speurtocht.

Eigenlijk zijn zij de 'makers' van het DNA zoals we het nu kennen en zoals het misschien zal worden.

Na DE DNA-MAKERS volgen in 1993 en 1994:

31 | SEKSUELE SELECTIE
Een proces van tegenstrijdige belangen

32 | DE WETENSCHAP VAN HET WOORD
Hersenen en taal

33 | BLOED
Van magie tot wetenschap

34 | CHEMISCHE REACTIES
Materie in beweging

35 | MICROBIOLOGIE
De wereld van bacteriën

36 | DE MAYA'S
Een nieuwe kijk op een oude cultuur

37 | VIRUSSEN
Het draaiboek van een epidemie

38 | STERREN
De stralingsbronnen van het heelal

SEKSUELE SELECTIE
Een proces van tegenstrijdige belangen



TELECOMMUNICATIE
Een revolutie in de signaaloverdracht

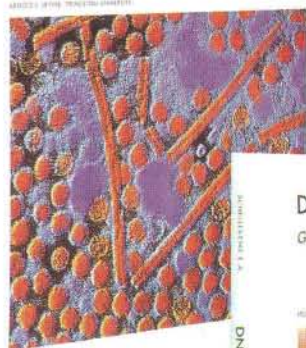


Niet voor niets telt de WETENSCHAPPELIJKE BIBLIOTHEEK al duizenden enthousiaste leden. Dat heeft te maken met de uitstekende kwaliteit van de boeken, maar ook met het door ons gekozen systeem dat u een zorgeloos lidmaatschap garandeert.

- | | | |
|---|--|---|
| 15 PSYCHOFARMACA
Hersenen onder invloed | 20 DE BIOLOGISCHE KLOK
Ritmiek van het leven | 25 SLAPEN EN DROMEN
Onderdelen van ons dagelijks gedragsritme |
| 16 ARCHITECTUUR IN DE NATUUR
De weg naar de optimale vorm | 21 VISUELE INFORMATIE
Schakelingen in onze hersenen | 26 ZWAARTEKRACHT
Het verband tussen massa, ruimte en tijd |
| 17 UITSTERVEN
Rampen markeren elk nieuw begin | 22 EILANDEN
Oceanen in beweging | 27 ENZYMEN
Gangmakers in de natuur |
| 18 ZON EN AARDE
Een warme relatie | 23 VAN QUARK TOT KOSMOS
Onderzoek naar het gedrag van de materie | 28 DE HONINGBIJ
Een samenleving van kleine giganten |
| 19 MOLEKULEN
Chemie in drie dimensies | 24 NAVIGATIE IN DE NATUUR
Meesters in de stuurmanskunst | 29 TELECOMMUNICATIE
Een revolutie in signaaloverdracht |

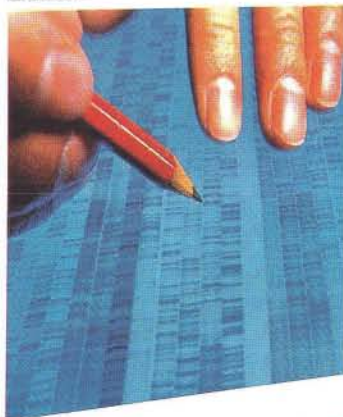
VIRUSSEN

Het drootboek van een epidemie



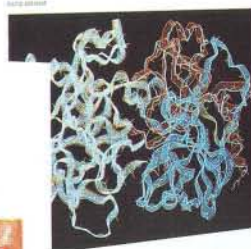
DNA-MAKERS

Genetica en genetische manipulatie



ENZYMEN

Gangmakers in de natuur



De prijs van deze delen is voor leden van de Wetenschappelijke Bibliotheek f 49,75 of 975 F.

De losse prijs bedraagt f 74,50 of 1460 F.

Voor abonnees van NATUUR & TECHNIEK is de losse prijs f 59,50 of 1165 F.

Oplossing oktober

Toen de professor in oktober in het Duitse plaatsje Düren rondliep, viel hem een lastig wiskundig probleem in. Stel dat de gehele getallen a en b beide groter zijn dan nul, dan voldoet het getal $3ab+a+b$ ook aan die voorwaarde. De getallen a en b genereren een oneindige verzameling getallen $3ab+a+b$. Hoe kon de professor bewijzen dat er óók een oneindige verzameling van getallen bestaat, die niet te schrijven is in de vorm van $3ab+a+b$?

Op aanraden van diverse inzenders, ging de professor bij het zoeken naar het bewijs als volgt te werk. Het getal n is te schrijven als $3ab+a+b$. Dan is $3n+1$ gelijk aan $9ab+3a+3b+1$, ofwel $(3a+1)(3b+1)$. Als we het getal n dus schrijven als $3ab+a+b$, dan is $3n+1$ te ontbinden in twee factoren die groter of gelijk zijn aan vier. Maar als $3n+1$ een priemgetal is, dan bestaat er geen ontbinding. In dat geval is het onmogelijk om n te schrijven als

$3ab+a+b$. De negentiende-eeuwse wiskundige Dirichlet heeft bewezen dat er oneindig veel priemgetallen van de vorm $3n+1$ zijn.

Bovenaan de laddercompetitie verscheen Marjo Lubbers uit Enschede, die daarmee een gratis jaarabonnement op Natuur & Techniek heeft gewonnen. Bij de verloting van een boek uit de Wetenschappelijke Bibliotheek, kwam de inzending van Jan de Lameillieure uit Berlijn te voorschijn.

De nieuwe opgave



Als de professor een winterse rondreis door de Ardennen maakt, valt zijn oog op de enkele verkeersborden die in de berm uit de sneeuw rijzen. Onder een bepaalde gezichtshoek lijkt de top van een verder weg gelegen heuvel in het verlengde van de zijde van een waarschuwbord te liggen.

Het verkeersbord is een gelijkzijdige driehoek. De professor kan een rechte lijn trekken van de basis van het verkeersbord via de

punt ervan naar de heuveltop. Stel dat het verkeersbord een gelijkzijdige driehoek ABC is en de lijn CE de bovenkant van het bord verbindt met de heuveltop E . Dan kan de professor met een punt D aan de voet van de heuvel een gelijkzijdige driehoek CDE vormen. Het midden van het lijnstuk AD is M en het midden van BE is N . Zo ontstaat er een denkbeeldige driehoek CNM . Is deze driehoek nu ook gelijkzijdig of niet?

Deze opgave werd ons verstrekt door de Nederlandse Onderwijscommissie voor Wiskunde. Oplossingen dienen, om mee te dingen naar de lootprijs en om punten te verdienen in de laddercompetitie, uiterlijk 5 februari te zijn ontvangen door de puzzelredactie:

Natuur & Techniek
Puzzelredactie
Postbus 415
6200 AK MAASTRICHT

VOLGENDE MAAND IN NATUUR EN TECHNIEK



Ratten

Dr A. Erynck

Ratten zijn er in groten getale en vormen een probleem. Van waar is die menigte ongewenste knaagdieren afkomstig? Wat is het verschil tussen de geschiedenis van de zwarte en van de bruine rat? Op deze vragen kan alleen paleontologisch en archeologisch onderzoek een goed antwoord geven.

vast hoe lang de beving duurde, hoe krachtig die was, waar zij ontstond en wat er onderaards verschoof. Al die gegevens ontleenden zij aan seismogrammen, registraties van aardbevingen. We nemen ze nog eens onder de loep.

Aardbevingen

Dr H. Paulssen en
dr T. van Eck

Op 13 april 1992 schudde de aarde vele Nederlanders, Belgen en Duitsers wakker. Seismologen stelden

Het oog

Dr A.J. Otto en
drs F. van der Werf

De zintuiglijke waarneming van de mens vindt plaats in de hersenen vanuit de zintuigen, organen waarin ontvangstelementen aanwezig zijn. In het oog wordt licht omgezet in elektrische energie die naar de hersenen wordt geleid. Daarbij kan het een en ander mis gaan.



Malaria

Dr J.A.F. Op den
Kamp en dr B. Roelofsen

Dankzij DDT leek de malariaparasiet 25 jaar geleden een overwonnen plaag te zijn. Maar

de malariamug verwierf resistentie tegen DDT, een bestrijdingsmiddel dat we sowieso niet meer willen gebruiken. Thans eist malaria jaarlijks weer miljoenen slachtoffers. Bestrijding vergt nieuw onderzoek.

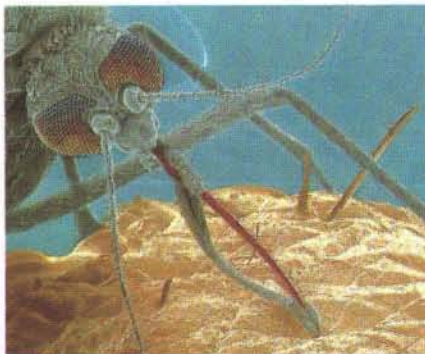


Foto Lennart Nilsson/© Boehringer Ingelheim, Alkmaar

Platina

Dr G.W.R. Leibbrandt

Bestudering van dunne lagen materie vormt een onderzoeksgebied op zich. Onderzoekers maken nu gebruik van

deeltjesversnellers voor de studie van bijvoorbeeld dunne platinlagen, legeringslagen van platina en ijzer, dunne ijzeroxiden en combinaties daarvan, bijvoorbeeld voor katalysatoren en magneetschijven.

KIJK OP WETENSCHAP

De fotocamera



Fabrikanten van fototoestellen zijn er het afgelopen decennium in geslaagd een vrijwel volautomatische fotocamera op de markt te brengen, de zogenaamde autofocus-camera. Zo is ook op het gebied van de fotografie het meten en regelen als menselijke activiteit overgenomen door elektronica.

SPECIAL
OFFER FOR
NATUUR & TECHNIK
READERS



How do you get the world of science and technology inside your living room every week?

Imagine what you'd learn if the most eminent minds in science and technology paid you a visit every week.

You might overhear how dolphins are making waves in zoology, for instance. How they actually listen with their jaws - and stun their prey with sound.

Or perhaps you'd catch on to some biting news in the world of entomology. Like how ants know when it's time for dinner.

Failing that, you could benefit from some handy tips on how butterflies are helping the fight against crime. (The Peruvian government plans to release swarms of coca-eating butterflies - with the aim of destroying the illegal traffic in cocaine).

And if you're lucky, you might be spellbound by the latest theory that suggests the snowbound yeti is more of a peace-loving vegetarian than an abominable snowman.

Of course, all these fascinating facts, as well as the more serious side of science and technology, are yours for the asking by subscribing to New Scientist.

Have New Scientist delivered every week and your mind will be in the best company.

With articles from the pens of the world's top scientists.

In order to provide the best service to our readers, Natuur & Techniek and New Scientist are cooperating on a number of editorial projects.

Natuur & Techniek is therefore pleased to offer a subscription to New Scientist at the special introductory rate of just £58.00 - a saving of £32.00 (over 35%) on the normal subscription rate of £90. This rate is only available to readers of Natuur & Techniek. Please use the special card in this issue and send this directly to New Scientist at the address shown.

subscribe to NewScientist
and save up to 35% on a subscription